

Ottobre 2015

€ 4,50

Le Scienze

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Una specie di invasori

Perché Homo sapiens è l'unica specie umana che è riuscita a colonizzare ogni angolo del pianeta

Astronomia

La gara per catturare le prime immagini dirette di un pianeta gigante extrasolare

Scuola

I test per valutare l'apprendimento scolastico servono davvero?





“Ho amato questo libro dalla prima pagina” (Carlo Rovelli)



Una coraggiosa riflessione sulla natura dei fenomeni mentali



I concetti essenziali della meccanica quantistica spiegati con chiarezza esemplare

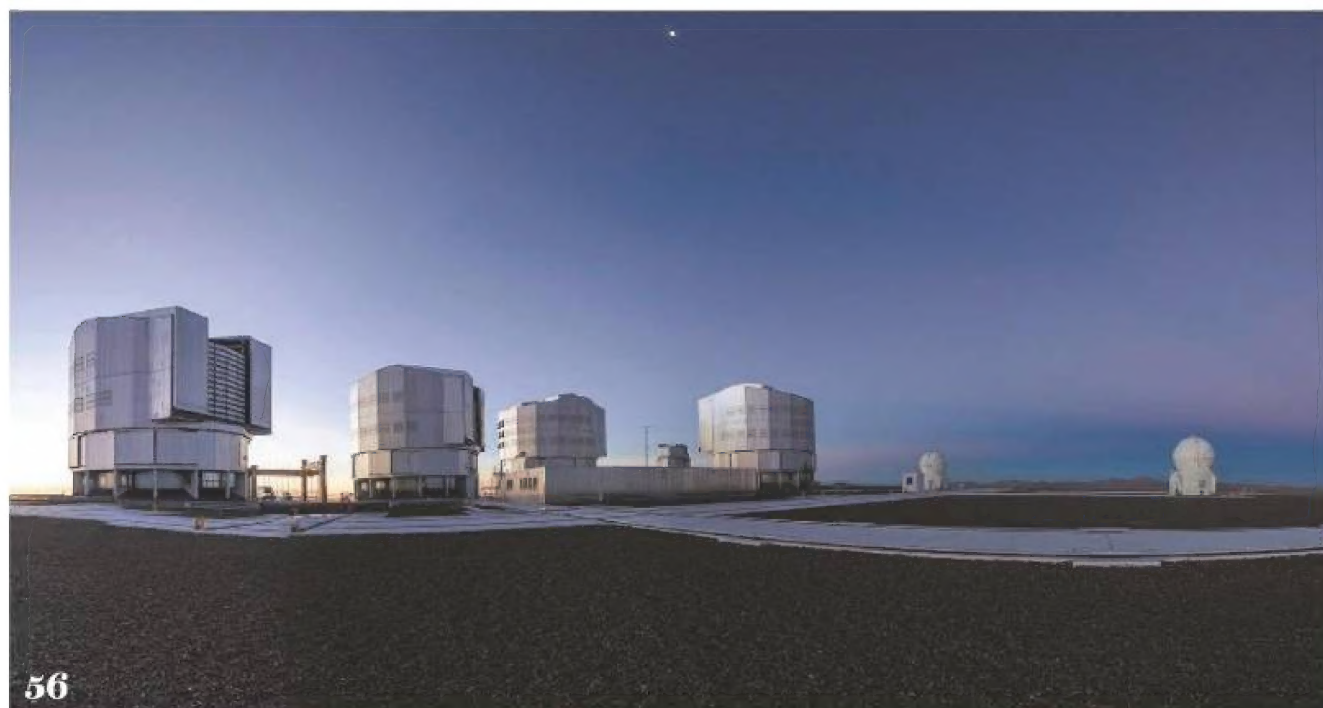


Il prezzo che paghiamo lasciando che il software domini la nostra vita



Due innovazioni uniche di *Homo sapiens*, un'eccezionale cooperazione tra individui e l'invenzione delle armi da lancio, avrebbero favorito l'espansione della nostra specie in ogni angolo del pianeta. (Illustrazione di Jon Foster)

Ottobre 2015 numero 566



EVOLUZIONE

34 La più invadente di tutte le specie*di Curtis W. Marean*

Molte specie umane hanno abitato la Terra, ma solo la nostra ha colonizzato il pianeta. Una nuova ipotesi spiega perché

CLIMA

42 Cambio di stato*di Dan Baum*

Alla ricerca dell'acqua perduta della California

50 Italia a secco*di Jacopo Pasotti*

Il futuro delle risorse idriche in un clima sempre più caldo

ASTRONOMIA

56 In cerca di un altro Giove*di Lee Billings*

Due gruppi competono per essere i primi a realizzare immagini dirette di pianeti giganti di altre stelle. Quello che scopriranno potrebbe cambiare la ricerca dei pianeti extrasolari

AMBIENTE

64 Foreste in marcia*di Hillary Rosner*

Il clima peggiora, ma gli alberi non possono muoversi verso posti migliori. Così sono gli scienziati a spostare i geni di cui hanno bisogno

STORIA DELLA SCIENZA

70 La battaglia di Felice Ippolito*di Pietro Greco*

Lo scienziato napoletano fu uno dei principali esponenti di un blocco sociale che modernizzò l'Italia scontrandosi con forze conservatrici

NEUROSCIENZE

78 La perdita di udito nascosta*di M. Charles Liberman*

Martelli pneumatici, concerti e altre fonti comuni di rumore possono causare un danno irreparabile alle nostre orecchie in modi inaspettati

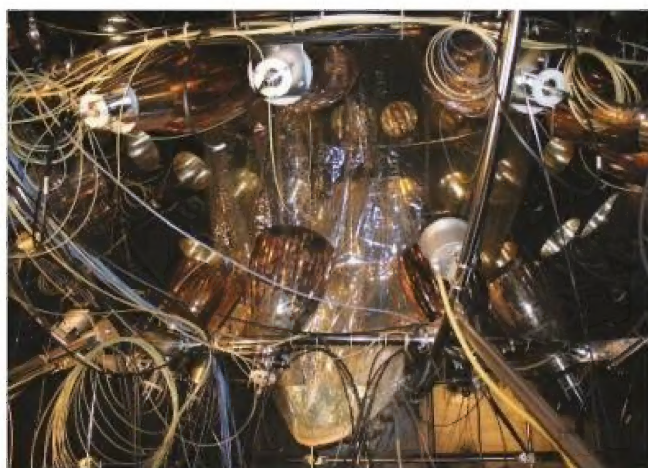
APPRENDIMENTO

84 I test nella scuola: una nuova visione*di Annie Murphy Paul*

Troppo spesso test di valutazione ed esami scolastici provocano ansia e ostacolano l'apprendimento. Nuove ricerche indicano come invertire la tendenza

92 Italia, la questione della valutazione*di Salvo Intravasa*

Contestati da studenti e famiglie, criticati da molti docenti, i test di valutazione dell'apprendimento scolastico sono oggetto di un acceso dibattito



14



18



24

Rubriche

7 Editoriale

di Marco Cattaneo

8 Anteprima

12 Lavori in corso

14 Intervista

Il lato oscuro del Gran Sasso di Silvia Bencivelli

16 Made in Italy

Automobili visionarie di Letizia Gabaglio

18 EXPOsed. L'Expo messa a nudo

Vino, geni e resistenza di Beatrice Mautino

20 Scienza e filosofia

I tanti aspetti di Hallucigenia di Telmo Pievani

21 Appunti di laboratorio

Le migrazioni dei primi indoeuropei di Edoardo Boncinelli

22 Il matematico impertinente

La legge della pigrizia cosmica di Piergiorgio Odifreddi

23 La finestra di Keplero

Nobel: è l'ora di Vera Rubin? di Amedeo Balbi

24 Homo sapiens

Una nuova specie umana di Giorgio Manzi

98 Rudi matematici

Conta, toglì, mangia (le crocchette)

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

100 Libri & tempo libero

104 Povera scienza

Genesis di una bufala attiraclick di Paolo Attivissimo

105 Pentole & provette

L'effetto sambuca di Dario Bressanini

SCIENZA NEWS

- 25 Alluvioni da inquinamento
- 26 Buchi neri con il bernoccolo
- 26 Materia e antimateria hanno massa uguale, parola di ALICE
- 27 Quando i retrovirus attaccarono i primati

- 27 L'origine dei fiori
- 28 Alle radici della diversità umana
- 28 I moscerini malati aumentano la variabilità genetica dei figli
- 30 Come si forma la complessità del pensiero

- 30 Il perché delle pupille a fessura
- 31 L'insolito genoma del polpo
- 31 Evoluzione dello scheletro umano: novità da Sima de los Huesos
- 32 Brevissime

L'ANTICADUTA È KETO SYSTEM

PER IL **74%**
DEI SOGGETTI

**RALLENTA VISIVAMENTE
LA CADUTA DEI CAPELLI***



UOMO

DONNA

Nickel Tested**

SENZA

Conservanti
Profumo
Glutine*

PER IL **70%**
DEI SOGGETTI
**CAPELLI PIÙ FORTI
E CORPOSI***

DEFENCE KS™

FAVORISCE LA NATURALE RICRESCITA DEI CAPELLI**

Con il programma **IN&OUT**
risultati ancora più evidenti:

- Integratore alimentare TricoSAFE 100
- Shampoo Anti-hair loss

BIONIKE
PER IL BENE DELLA
PELLE SENSIBILE

In Farmacia

*Non contiene glutine o i suoi derivati. L'indicazione consente una decisione informata ai soggetti con "Sensibilità al glutine non-celiaca (Gluten Sensitivity)". **Anche contenuti residui di nickel possono creare, in particolare nei soggetti predisposti, reazioni allergiche o sensibilizzazioni. Quindi ogni lotto è analizzato per garantire un contenuto di nickel inferiore a 0,00001%.

**TEST DI AUTOVALUTAZIONE LOZIONE ANTICADUTA: "Valutazione soggettiva dell'efficacia, gradevolezza e tollerabilità di un prodotto cosmetico", condotta da EICH-HUB, Academic Spin-off University of Pavia su 100 soggetti, di ambo i sessi, con diversi gradi di diradamento del cuoio capelluto, con applicazione quotidiana per 1 mese. **TEST COSMETOCLINICO LOZIONE ANTICADUTA in doppio cieco, verso placebo, su 60 soggetti, di ambo i sessi, con applicazione quotidiana per 3 mesi.

PIERO DELLA FRANCESCA

INDAGINE SU UN MITO

FORLÌ

MUSEI SAN DOMENICO

13 FEBBRAIO

26 GIUGNO 2016

INFORMAZIONI

tel. 0543.1912030-031

CATALOGO

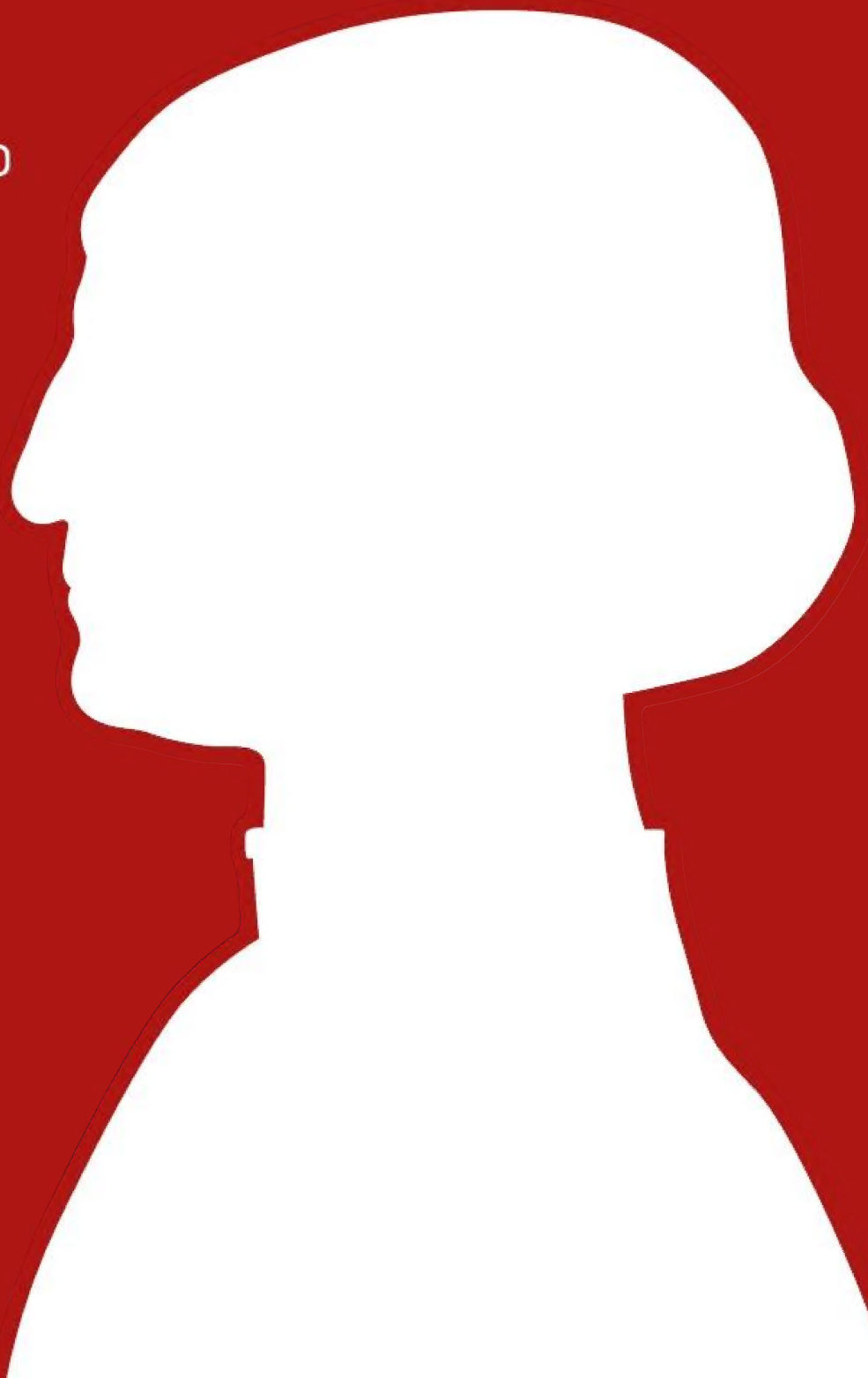
SilvanaEditoriale



Fondazione
Cassa dei Risparmi
di Forlì



in collaborazione
con
Comune di Forlì





di Marco Cattaneo

Una visione globale

A cent'anni dalla nascita del fondatore di «Le Scienze»

Sono passati vent'anni – settimana più, settimana meno – da quando Felice Ippolito mise piede in redazione chiedendoci un caffè che avrebbe sorvegliato come sempre con una smorfia di biasimo. «Passano gli anni, ma 'sto caffè sempre schifo fa». Di lì a qualche minuto, dopo la consueta raffica di battute che dispensava con garbata ironia, ci avrebbe informato, con la voce appena increspata dall'emozione, che dopo 27 anni lasciava la direzione di «Le Scienze».

Nato il 16 novembre 1915, stava per compiere ottant'anni, e ormai veniva di rado in redazione, ma quando faceva la sua apparizione «il professore» non perdeva occasione per farci le sue osservazioni sulla rivista, manifestandoci il suo apprezzamento per il nostro lavoro, e ricordandoci che quella di portare al grande pubblico la passione per la scienza era una missione vitale. Perché solo una cultura scientifica diffusa avrebbe permesso al paese di tornare a recitare un ruolo di avanguardia sulla scena internazionale. E qui apriva il libro delle innumerevoli storture di un sistema che, a suo dire, stava portando il paese al declino. La riduzione degli investimenti in ricerca, la mancanza di merito, i finanziamenti a pioggia, la perdita di *know-how* conseguente alla dismissione di settori cruciali della ricerca.

Così mi capita, di tanto in tanto, di chiedermi che diavolo direbbe oggi, che la pioggia dei finanziamenti è diventata un misero sgocciolo, mentre i blandi tentativi di premiare il merito sono sistematicamente viziati da criteri quasi mai trasparenti. O, peggio, del clima di sospetto, quando non proprio di oscurantismo, che circonda alcuni campi della scienza.

La storia di Felice Ippolito, a un secolo dalla nascita, ve la racconta Pietro Greco in queste pagine. A me resta il ricordo di un uomo di cultura sterminata e di un'onestà intellettuale cristallina. Ma non solo. Aveva anche la dote – invero singolare per



chi frequenta gli ambienti della politica – di guardare al futuro. Al di là dell'intramontabile passione per la questione energetica, negli anni ottanta, quando sedeva sui banchi del Parlamento Europeo, si batteva per una drastica riduzione delle spese militari per investire nella crescita dei paesi poveri. E già molti anni prima non esitava a richiamare l'attenzione su uno sviluppo rispettoso delle risorse, che forse oggi chiameremmo sostenibile. E ancora, fu il primo sostenitore della ricerca italiana in Antartide, che oggi compie trent'anni e per cui gli è stato intitolato il Museo nazionale dell'Antartide.

Ecco, Felice Ippolito aveva una vera visione globale. Di cui oggi si sentirebbe il bisogno.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di biologia ingegneristica, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore associato filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CIOLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, Università del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

Infinitesimi rivoluzionari

A novembre allegato alla rivista il libro *Infinitamente piccoli*, di Amir Alexander

La matematica può essere sovversiva. Se questa affermazione può sembrare forte, addirittura eccessiva, allora immergetevi nella lettura di *Infinitamente piccoli*, il libro di Amir Alexander allegato a «Le Scienze» di novembre e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni, che racconta di una rivoluzione fatta da entità piccole all'inverosimile. Nel XVI secolo una generazione di matematici aveva deciso di riscattare dall'oblio il concetto di infinitesimo, ovvero, semplificando, l'idea per cui ogni linea è formata da una fila di punti (o «indivisibili»), una sorta di mattoncini elementari infinitamente piccoli che non possono essere suddivisi.

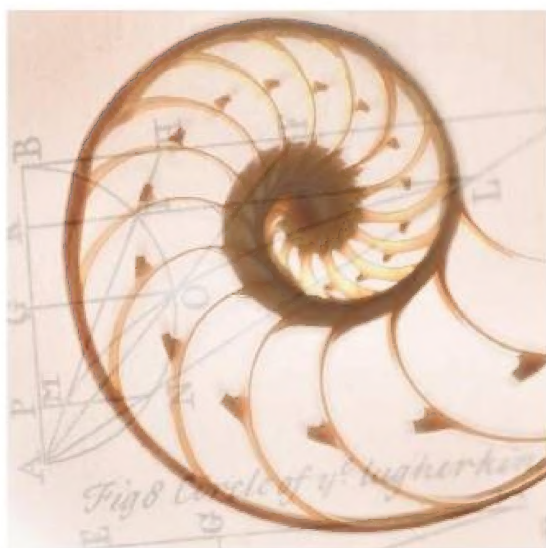
Già gli antichi Greci avevano cercato di addomesticare gli infinitesimi, ma i paradossi a cui portavano, per esempio il velocissimo Achille che in una gara di corsa non riesce mai a raggiungere una tartaruga partita in leggero vantaggio, avevano allontanato pensatori del calibro di Platone e Aristotele. Racconta Alexander, professore di storia della scienza all'Università della California a Los Angeles, che nei secoli antichi l'ultimo a occuparsi di questo concetto da usare come strumento per la geometria era stato Archimede, nel III secolo a.C. Poi più nulla fino al 1500, quando Simon Stevin (Stevino) nelle Fiandre, Thomas Harriot in Inghilterra, Galileo Galilei e Bonaventura Cavalieri in Italia, e altri ancora avevano riscoperto i lavori di Archimede con gli infinitesimi, iniziando a considerarne nuovamente le possibili applicazioni nello studio della natura e nell'ambito più propriamente geometrico. C'era però un problema.

Il recupero del metodo degli indivisibili aveva rivoluzionato la matematica, rendendo possibili calcoli geometrici inavvicinabili prima di allora. Questo impulso dinamico al sapere, foriero di nuovi risultati, era proseguito nel secolo successivo ed era presto trascinamento nell'ambito sociale e politico. La nuova e potente mate-

matica basata sugli infinitesimi minava l'ordine costituito, basato sull'idea che il mondo fosse perfettamente razionale, governato da rigorose leggi matematiche. I paradossi a cui davano vita gli infinitesimi, le nuove conoscenze che permettevano di raggiungere, erano anche la dimostrazione che qualunque teoria matematica del mondo è parziale e provvisoria, perché non può spiegare tutto e potrà sempre essere sostituita da una migliore. Questa innovazione era inconcepibile in una società ancora dominata dall'autoritarismo e dai dogmi religiosi, che costringeva, tra gli altri, Galileo a ritrattare le sue scoperte sui moti celesti e sulla struttura dell'universo sotto la minaccia della Santa Inquisizione.

Gli infinitesimi avevano dimostrato che non esiste un ordine necessario delle cose, nemmeno nella società. L'infinitamente piccolo divenne terreno di battaglia in molte aree dell'Europa occidentale, con due epicentri che avrebbero conosciuto esiti diversi: l'Italia a sud e l'Inghilterra a nord. Gli schieramenti erano ben riconoscibili: da una parte c'erano i sostenitori della libertà intellettuale, del progresso scientifico e della riforma politica; dall'altro i paladini dell'autorità, della conoscenza universale immutabile e della gerarchia politica fissata. Nel nostro paese la chiesa cattolica ebbe la meglio, mentre in Inghilterra gli infinitesimi conobbero sorte opposta.

Alla fine del XVIII secolo l'Italia aveva perso il primato di luogo di eccellenza nel progresso della scienza, mentre l'Inghilterra si affacciava prepotentemente nel novero dei paesi guida dello sviluppo scientifico e tecnologico. Quella che ora chiamiamo analisi matematica, centrata sugli indivisibili infinitamente piccoli, portò a risultati di cui beneficiamo ancora oggi. Per esempio le equazioni differenziali che descrivono il rapporto tra elettricità e magnetismo elaborate a metà Ottocento dal britannico James Clerk Maxwell o quelle della trasmissione del calore, grazie a cui fu possibile la Rivoluzione industriale.



RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati).

La stessa offerta è valida per acquistare i volumi della collana **I grandi della scienza** nella nuova edizione al prezzo di € 6,90 incluso il prezzo di spedizione. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di

14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

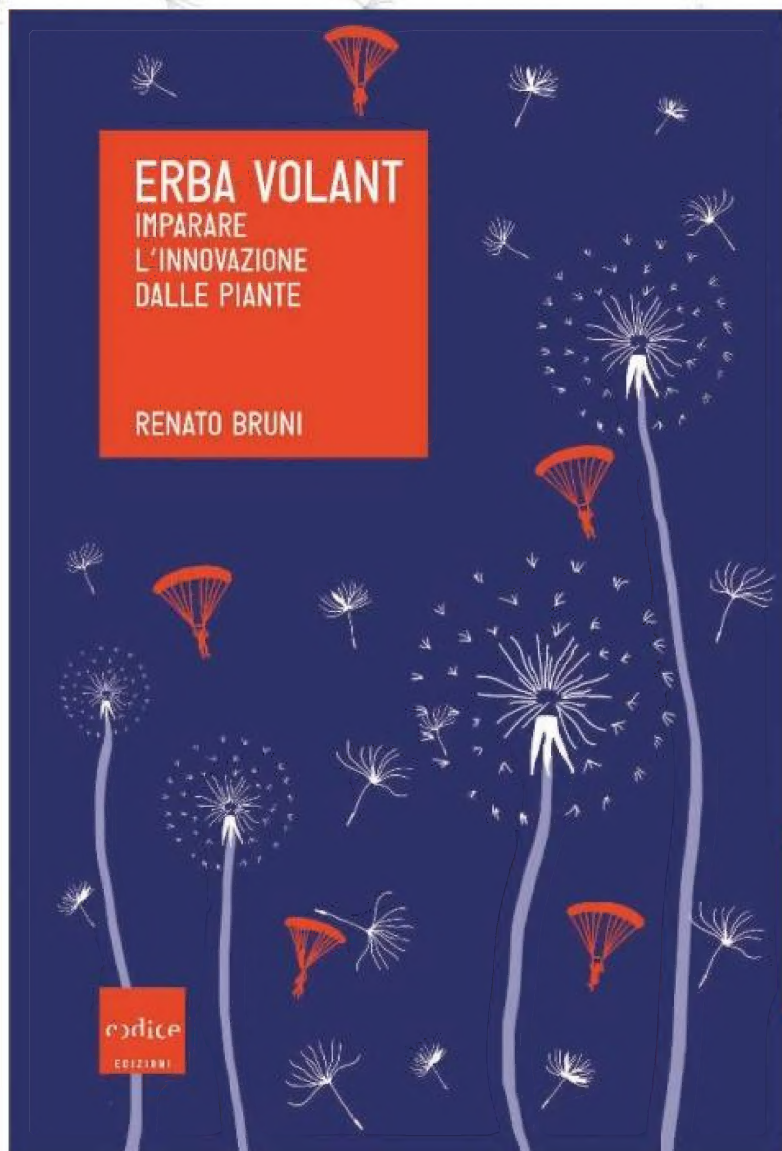
RENATO BRUNI

ERBA VOLANT

IMPARARE L'INNOVAZIONE DALLE PIANTE

pp. 240 | euro 15,00

codice
EDIZIONI



Piante carnivore che ispirano il funzionamento delle trappole luminose per zanzare.

Pini che aiutano nell'ammarraggio delle missioni spaziali.

Foglie che ispirano vernici idrorepellenti.

Fiori che suggeriscono la progettazione di serramenti.

Frutti che un giorno aiuteranno a colonizzare nuovi pianeti.

Creare, costruire e innovare: con un occhio a cosa ha già fatto la natura.

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it



facebook.com/in.codice

twitter.com/codice_codice

pinterest.com/codice_codice

codice
EDIZIONI

Esperimenti per tutti

A richiesta in edicola il primo volume della collana *La scienza per gioco*

Cominciato il nuovo anno scolastico, torna la scienza per bambini (e anche per adulti curiosi che hanno voglia di giocare a fare gli scienziati). Con questo numero di ottobre, a soli 8,90 in più oltre al prezzo della rivista sarà possibile acquistare *Il laboratorio delle meraviglie*, il primo volume della collana *La scienza per gioco*, che fino a maggio accompagnerà con uscite mensili «Le Scienze», al motto di: sperimentare, sperimentare e ancora sperimentare.

In ogni libro sono illustrati esperimenti da fare in casa con materiali semplici ed economici. Non c'è nulla di pericoloso in questo «mettere le mani sulla scienza», l'importante è fare sempre attenzione alle indicazioni, spostarsi in tempo e avvertire i più grandi che ci sporca un po' (sempre che non siano anche i più grandi a sporcarsi con i piccoli). Il divertimento è assicurato, come illustrano alcune pagine della prima uscita che trovate nella pagina a fronte (in totale sono quasi 100 pagine di esperimenti illustrati e spiegati in tavole a colori, rilegate in un volume di grande formato). *Il laboratorio delle meraviglie* è firmato da Richard Hammond, conduttore britannico protagonista di uno show per i più giovani andato in onda sulla BBC, che ha ispirato il libro. Potete pensarlo come un manuale grazie a cui entrare giocando in un vero laboratorio di scienza, dove vengono spiegati in modo divertente i fenomeni naturali.

Lo stesso Hammond è autore di *Che la forza sia con te*, in edicola a novembre, sempre a soli 8,90 euro in più oltre al prezzo della rivista. Nel secondo volume della collana *La scienza per gioco* usciamo dal laboratorio e sperimentiamo la fisica che governa la quotidianità e il mondo che ci circonda. Al centro di tutto c'è il concetto di forza, con cui iniziamo a prendere

confidenza non solo grazie agli esperimenti illustrati, ma anche seguendo una breve storia della fisica a fumetti che permette di fare la conoscenza dei personaggi più importati della storia della scienza, da Archimede a Albert Einstein, passando per Galileo Galilei.

In questo modo capiremo toccando con mano come la fisica entra nella vita di tutti i giorni, e anche un po' più in là, gover-



nando l'universo. Non solo la forza che riguarda la materia – atomi e oggetti – ma anche la forza elettromagnetica, responsabile dei fenomeni che riguardano la luce, per esempio la genesi degli arcobaleni. In attesa del terzo volume della collana, dedicato al magico mondo della chimica.

PIANO DELL'OPERA

OTTOBRE

Il laboratorio delle meraviglie

Un'infinità di esperimenti per costruire razzi, aerei e altre diavolerie.

NOVEMBRE

Che la forza sia con te

Scopriamo le forze che hanno dato forma agli atomi come ai pianeti.

DICEMBRE

La danza degli elementi

Come si trasforma la materia grazie ai trucchi della chimica.

GENNAIO 2016

Il magico mondo dei numeri

Un viaggio da zero all'infinito e oltre, tra numeri magici e forme bizzarre.

FEBBRAIO

Che cos'è la vita?

Esplora il mondo dai microbi fino a noi, per svelare i misteri della vita.

MARZO

La rivoluzione dell'evoluzione

Dai fringuelli delle Galápagos che ispirarono Darwin fino al DNA.

APRILE

Che hai nella testa?

Perché ridiamo? Perché sogniamo? La fantastica macchina del cervello.

MAGGIO

Perché io sono io

Ognuno di noi è diverso da tutti gli altri. Andiamo insieme a capire perché.

Acrobazie d'acqua

L'acqua è una sostanza molto più strana di quel che si pensa. Ecco due esperimenti per sorprendere gli amici e INZUPPARLI! Se si arrobbano, potrai sempre dire: "Almeno oggi hai imparato qualcosa di scienza!"

IL TRUCCO DELLA BOTTIGLIA

DEMENTICIAMOCI

1. Metti d'acqua una bottiglia di plastica e acqua. Tieni il tappo. Con una pinza, togli il tappo. Con la pinza, togli il tappo. Con la pinza, togli il tappo.

NON APRIRMI

2. Metti d'acqua una bottiglia di plastica e acqua. Tieni il tappo. Con una pinza, togli il tappo. Con la pinza, togli il tappo. Con la pinza, togli il tappo.

COME FUNZIONA?

Questo esperimento mostra l'azione capillare. L'acqua sale nei tubi sottili. L'acqua sale nei tubi sottili. L'acqua sale nei tubi sottili. L'acqua sale nei tubi sottili. L'acqua sale nei tubi sottili.

LA GAZZETTA DEL LABORATORIO

Numero 152-724-237

ULTIME NOTIZIE ULTIME NOTIZIE ULTIME NOTIZIE

STIAMO PER ESSERE INVASI? LUCI MISTERIOSE SEMINANO IL PANICO

La scorsa notte siamo stati invasi da luci misteriose. Le luci misteriose sono apparse nel cielo di Bayreuth, in Baviera. Alcuni tutti si sono fuggiti pensando a un attacco degli alieni. Ecco uno

schermata di una foto satellitare che mostra una città con luci misteriose. Le luci misteriose sono apparse nel cielo di Bayreuth, in Baviera. Alcuni tutti si sono fuggiti pensando a un attacco degli alieni. Ecco uno



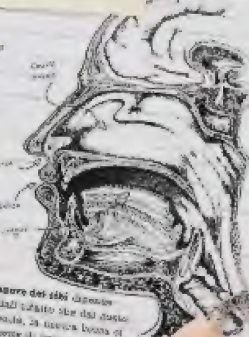
ESCLUSIVO: AUTORE SPaventoso

I "spett" visti in realtà erano alcuni aerei. Questi aerei sono provati da un'azienda che vende che anche di chimica, vengono a fare verso i poli sudamericani. Quando entrano in collisione con l'atmosfera, la loro energia viene ceduta agli ioni dell'aria e si crea una forma di luce.

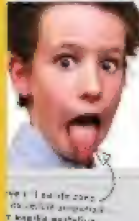
La scienza degli odori

Perché si viene "acquolina in bocca"? Di solito perché sentiamo l'odore di qualcosa di APPETITOSO. Il nostro naso sente gli odori molto prima che il cibo arrivi nella nostra BOCCA.

Il rivestimento della lingua (LINGUA) è ricoperto da papille che si raccolgono da migliaia di gustazioni. Queste papille sono ricoperte da cellule che riconoscono le diverse gustazioni. Le gustazioni sono: dolce, salato, amaro, acido e saporito. Le gustazioni sono: dolce, salato, amaro, acido e saporito.



Il sapore del cibo dipende dal gusto che si sente in bocca. Il gusto che si sente in bocca dipende dal gusto che si sente in bocca. Il gusto che si sente in bocca dipende dal gusto che si sente in bocca. Il gusto che si sente in bocca dipende dal gusto che si sente in bocca.



Impatto improvviso

Alcune meteore arrivano così velocemente che in un attimo diventano visibili. Anche se non riusciamo a vederle, comunque le nostre osservazioni mostrano che si muovono a velocità di 10-20 km/h. Le meteore sono visibili per un attimo e poi scompaiono. Le meteore sono visibili per un attimo e poi scompaiono. Le meteore sono visibili per un attimo e poi scompaiono.



Il razzo-bottiglia

Pronti per il decollo? Questo semplice razzo non arriverà sulla LUNA, ma dovrebbe essere in grado di superare il tetto di una casa. Per questo esperimento avrai bisogno dell'aiuto di un adulto.

1. Togli il tappo da una bottiglia di plastica. Mettila su un tavolo. Mettila su un tavolo. Mettila su un tavolo. Mettila su un tavolo. Mettila su un tavolo.



2. Se il razzo è in movimento, da un punto di partenza, alzi il razzo e lo lancia. Se il razzo è in movimento, da un punto di partenza, alzi il razzo e lo lancia. Se il razzo è in movimento, da un punto di partenza, alzi il razzo e lo lancia.

Slime fai-da-te

Perché la scienza di fare slime è molto divertente. La scienza di fare slime è molto divertente. La scienza di glue è molto divertente. La scienza di glue è molto divertente. La scienza di glue è molto divertente.

PROVA COSÌ

1. Prendi un bicchiere di acqua e un bicchiere di colla.
2. Prendi un bicchiere di acqua e un bicchiere di colla.
3. Prendi un bicchiere di acqua e un bicchiere di colla.
4. Prendi un bicchiere di acqua e un bicchiere di colla.
5. Prendi un bicchiere di acqua e un bicchiere di colla.

E VAL CON IL VISCIDUME!

1. Metti la colla in un bicchiere.
2. Metti la colla in un bicchiere.
3. Metti la colla in un bicchiere.
4. Metti la colla in un bicchiere.
5. Metti la colla in un bicchiere.

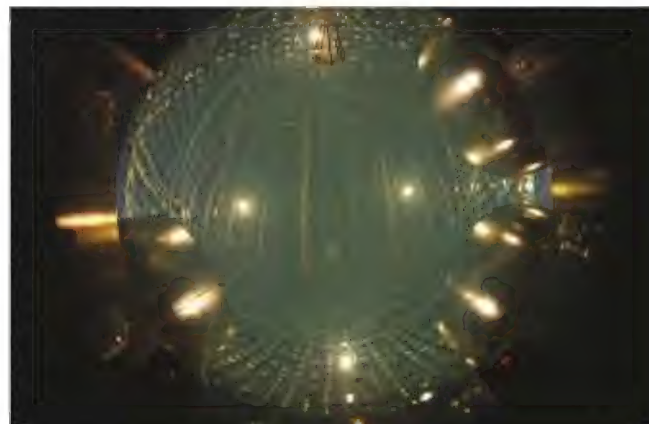
Fuochi, lampi e botti!

Hai mai visto un fuoco d'artificio blu? No, vero? I fuochi d'artificio possono creare tanti colori abbaglianti, ma nessuno dà origine a una luce blu. I colori dipendono dagli elementi metallici presenti nella miscela chimica. Lo strascico produce una luce rossa, il barto una luce verde, il sodio una luce gialla. L'alluminio e il magnesio esplodono in un'accecante luce bianca.

La prima volta dei geoneutrini

Confermata la rilevazione di queste particelle prodotte nel mantello terrestre

Il rivelatore Borexino costruito sotto 1,5 chilometri di roccia ai Laboratori nazionali del Gran Sasso dell'Istituto nazionale di fisica nucleare ha confermato la scoperta di geoneutrini provenienti dal mantello terrestre. Come spiegato su «Physical Review D» dalla Borexino Collaboration, queste particelle elementari, più correttamente antineutrini elettronici, sono prodotte nelle centrali nucleari e in processi naturali di decadimento radioattivo di uranio-238 e torio-232 che avvengono nel mantello. In 2056 giorni di osservazione, Borexino ha rilevato 24 eventi riconducibili a geoneutrini generati nel mantello con una significatività statistica che permette di catalogare la rilevazione come scoperta, confermando risultati precedenti. Ora l'uso di queste particelle come sonde quantistiche con cui studiare l'interno del pianeta è più vicino (si veda *Penetrare i misteri della Terra*, in «Le Scienze» n. 540, agosto 2013).



Stomaci di plastica



Pattume per cibo.

La quasi totalità degli uccelli marini ingerisce frammenti di plastica ormai onnipresenti nei mari.

I frammenti di plastica che inquinano i mari della Terra sono oltre 5 miliardi, e sono distribuiti in modo abbastanza omogeneo a ogni latitudine, probabilmente grazie all'azione delle correnti. L'impatto di questi frammenti sugli ecosistemi è ancora in fase di valutazione da parte di diversi gruppi di scienziati (si veda *Alla ricerca della plastica scomparsa*, in «Le Scienze» n. 560, aprile 2015). Le prospettive però non sono affatto buone, come dimostra uno studio di Chris Wilcox, della Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) di Hobart, in Australia, pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences».

Gli scienziati hanno stimato che at-

tualmente fino al 90 per cento degli uccelli marini avrebbe frammenti di plastica nello stomaco. La situazione però potrebbe addirittura peggiorare, spiegano Wilcox e colleghi. Se non si riuscirà a ridurre la quantità di plastica che finisce nei mari, entro il 2050 sarà il 99 per cento degli uccelli marini ad avere frammenti plastici nello stomaco. Il problema riguarda e riguarderà tutte le aree marine del pianeta.

Per ora l'impatto maggiore è stato stimato negli uccelli che vivono nel Mare della Tasmania, tra Australia e Nuova Zelanda. Gli uccelli scambiano i frammenti di plastica colorata in modo vivace per cibo, ma l'esito di questa ingestione può anche essere la morte, oltre all'immissione nella catena alimentare di composti tossici presenti nei frammenti.

Ribosomi su misura

Le frontiere della biologia sintetica sono sempre più vaste (si veda *L'ingegneria della vita*, in «Le Scienze» n. 456, agosto 2006). Uno dei risultati più recenti di questo ambito di ricerca, che mira a costruire nuove cellule e funzioni cellulari, riguarda i ribosomi, organuli delle cellule deputati alla sintesi di proteine in funzio-



Due in uno. Un ribosoma durante la sintesi proteica. Le due subunità (in verde) sono unite tra loro.

ne delle istruzioni contenute nel DNA. Con esperimenti condotti sul batterio *Escherichia coli* e pubblicati su «Nature», Alexander S. Mankin dell'Università dell'Illinois a Chicago e colleghi hanno ingegnerizzato ribosomi naturali in modo da ottenere proteine a comando.

Nello specifico, gli scienziati hanno prodotto ribosomi le cui due subunità sono collegate tra loro in modo stabile sempre, dunque non solo durante la sintesi proteica, come avviene nei ribosomi non modificati. Questi ribosomi strutturati in modo permanente, chiamati Ribo-T, si sono dimostrati funzionali nei batteri e potenzialmente in grado di superare i limiti della capacità di sintesi dei ribosomi non

modificati. Grazie a questa innovazione, i Ribo-T potrebbero essere usati nella produzione di nuove proteine dalle applicazioni più disparate.

Solfuro elettrico

Materiali che permettono il fluire di elettricità senza opporre resistenza, i superconduttori, sono un tassello cruciale per tecnologie innovative. Il loro impiego però è limitato dal fatto che la superconduttività emerge a temperature assai basse, nell'ordine delle decine di kelvin (0 kelvin corrispondono a -273,15 gradi Celsius), a eccezione di materiali che manifestano la superconduttività a temperature sensibilmente superiori, nell'ordine delle centinaia di kelvin (si veda *Una chiave per la superconduttività ad alte temperature?*, in «Le Scienze» n. 494, ottobre 2009).

Ora a questi conduttori ad alta temperatura va ad aggiungersi il solfuro di idrogeno (H_2S). Come illustrato su «Nature», Mikhail Erements del Max-Planck-Institut für Chemie di Mainz ha osservato il fenomeno della superconduttività a una temperatura record di 203 kelvin (-70 gradi Celsius) in H_2S sottoposto a una pressione equivalente a 2 milioni di volte la pressione atmosferica.

JACOPO PASOTTI

LA SCIENZA IN VETTA

FENOMENI NATURALI, CURIOSITÀ SCIENTIFICHE, MITI DA SFATARE E DOMANDE CHE TUTTI CI SIAMO FATTI, DALLA VETTA A FONDOVALLE: LA FISICA DELLO SCI, LE STRATEGIE DI SOPRAVVIVENZA DI PIANTE E ANIMALI, LA STRAORDINARIA E RAFFINATA COMPLESSITÀ DELLA NEVE... E TANTO ALTRO ANCORA.

UN LIBRO ILLUSTRATO, BELLO DA LEGGERE E DA VEDERE, PER CAPIRE COME MAI LE MONTAGNE SONO COME SONO.

PP. 200 | EURO 16,00

codice

EDIZIONI

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it



facebook.com/in.codice



twitter.com/codice_codice



pinterest.com/codice_codice



Il lato oscuro del Gran Sasso

Ai Laboratori nazionali dell'INFN è stato inaugurato uno degli esperimenti più promettenti per lo studio della materia oscura, come spiega Cristiano Galbiati

La ricerca della materia oscura comincia dalle profondità della Terra. Inizia in un giacimento minerario del Far West, prosegue in una vecchia miniera in Sardegna e si compie in un rivelatore di nuova generazione protetto da 1400 metri di roccia nei Laboratori nazionali del Gran Sasso dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN). È quello dell'esperimento DarkSide: inaugurato a giugno, oggi è uno dei più promettenti per lo studio dell'elusiva materia che compone circa un quarto dell'universo. DarkSide funziona grazie a un cuore di argon liquido, e procurarsi questo elemento è solo la prima difficoltà per chi, come Cristian Galbiati, professore di fisica alla Princeton University e ricercatore della sezione dell'INFN di Milano, con DarkSide si prepara a scrutare il cosmo.

Per DarkSide state cominciando a lavorare anche su una miniera di carbone del Sulcis, quella di Seruci, che appartiene a Carbosulcis S.p.A. Ha ancora alcuni pozzi attivi, ma la sua chiusura è prevista per il 2018. Perché andare proprio lì?

Nella miniera sarà costruito un impianto tecnologico unico al mondo: una torre di distillazione criogenica alta 350 metri tutta sotterranea, capace di separare l'aria nelle sue componenti fondamentali. È il progetto Aria, finanziato da Regione Autonoma Sardegna, dall'INFN e dalla statunitense National Science Foundation. Il suo obiettivo principale è purificare argon dall'isotopo radioattivo argon-39, che disturba il lavoro del nostro rivelatore di materia oscura.

Ma l'argon da trattare nella torre da dove arriverà?

Come già succede per quello che usiamo oggi, sarà prelevato da giacimenti minerari del Colorado. L'argon sotterraneo, infatti, rispetto a quello dell'aria, ha una minore densità di argon-39, perché è protetto dai raggi cosmici che producono l'isotopo radioattivo nell'atmosfera. E quanto minore è questa componente, tanto più grande può essere il rivelatore. Si consideri però che per studiare la materia oscura serviranno rivelatori da centinaia di tonnellate, cioè rivelatori più grandi di quello attuale, per cui avremo bisogno di argon il più pulito possibile, ed è per questo che ci servirà la torre.

Perché usare proprio argon, se ha bisogno di un trattamento così complicato?

L'argon è uno degli elementi più adatti per cercare la materia oscura perché ha una proprietà fisica unica, che ci permette di distinguere tra le radiazioni naturali (che interagiscono soprattutto con gli elettroni) e quelle prodotte dall'interazione tra le particelle di materia oscura e il nucleo degli atomi: i cosiddetti rinculi nucleari.

Assemblare un rivelatore. Qui sotto e nella pagina a fronte, alcuni passaggi della costruzione di DarkSide sotto 1,4 chilometri di roccia ai Laboratori nazionali del Gran Sasso dell'INFN.



L'argon è un elemento nobile che, dopo un evento ionizzante, forma dimeri [molecole formate da due atomi, N.d.R.] in due diversi stati quantistici, chiamati rispettivamente singoletto e tripletto. Il rapporto tra il numero di stati di singoletto e quello di tripletto cambia a seconda del tipo di ionizzazione che li ha prodotti.

Conoscere questo rapporto significa capire quale evento c'è dietro. Ed è possibile grazie al fatto che i due dimeri emettono una luce di scintillazione di durata diversa: una molto breve (dell'ordine dei nanosecondi) e una mille volte più lunga (microsecondi). Quindi, a seconda della velocità con cui i fotoni sono emessi, possiamo capire se sono state prodotte popolazioni a prevalenza di singoletti o a prevalenza di tripletti. Cioè se si tratta di radiazione naturale o dell'arrivo di una particella di materia oscura.

È come se nella luce restasse stampata la traccia dell'evento, insomma, e il nostro rivelatore è in grado di leggerla.

CHI È

Cristiano Galbiati insegna alla Princeton University ed è ricercatore all'INFN. I suoi interessi scientifici riguardano principalmente la fisica astroparticellare, ed è impegnato in progetti di rilevanza internazionale per la ricerca di materia oscura e lo studio dei neutrini. In particolare, co-dirige gli esperimenti DarkSide e Borexino, entrambi operativi ai laboratori INFN del Gran Sasso.





È questo che rende i rivelatori a base di argon così promettenti?

Sì, perché è questo che li rende privi di *background*, cioè privi del rumore di fondo indotto dalla radioattività naturale. Sono gli unici rivelatori di materia oscura ad avere oggi questa caratteristica. Ed è fondamentale, perché ci aspettiamo che le prime rivelazioni di materia oscura avvengano con pochi eventi, quindi renderli chiari e riconoscibili è necessario.

Oggi DarkSide usa un rivelatore piccolo. Che cosa succederà quando avremo a disposizione argon purificato dalla torre nella miniera di Seruci?

Oggi abbiamo un rivelatore da 153 chilogrammi di argon, che si chiama DarkSide50 perché solo 50 chilogrammi sono la massa attiva. DarkSide50 sta già lavorando, dimostrando di essere davvero capace di rigettare il rumore di fondo dato dalla radioattività naturale, e l'analisi dati viene fatta di continuo. Però è ancora troppo piccolo. Vogliamo arrivare a 30 tonnellate nel 2020 e a 300 nel 2025. E non sarà solo materia oscura: DarkSide300 farà anche misure di altissima precisione sui neutrini che provengono dal Sole.

DarkSide è una collaborazione internazionale che coinvolge 250 scienziati e 36 istituti di ricerca di nove nazioni diverse, finanziata soprattutto da INFN, National Science Foundation e Department of Energy degli Stati Uniti. Ma è anche un esperimento che ha richiesto diversi sforzi tecnologici.

Per DarkSide sono state fatte tre cose importanti dal punto di vista tecnologico. Intanto si è dovuto fare uno sforzo per il prelievo di argon sotterraneo in Colorado. Inoltre c'è la torre di distillazione in Sardegna. Infine, i prossimi rivelatori di DarkSide avranno rivelatori di luce al silicio progettati e fabbricati in Italia. Li stanno progettando due gruppi, uno al Politecnico di Milano e uno alla Fondazione Bruno Kessler di Trento, mentre a produrli sarà un'azienda di Avezzano. Questo migliorerà lo strumento, perché saranno fotorivelatori ad altissima tecnologia, e ne abbasserà i costi.

E la torre nella miniera di Seruci, una volta che vi avrà dato l'argon che serve, che fine farà?

Potrà essere usata per la produzione di altri isotopi stabili dall'aria, che a loro volta potranno essere usati per la diagnostica medica. Per esempio si potrà ottenere ossigeno-18, da cui a sua volta si ottiene fluoro-18 che serve per la PET e che oggi è costosissimo perché molto raro.

Ma per la diagnostica medica ci sono molte idee anche intorno alle altre tecnologie usate per DarkSide. Per esempio è in fase di studio un possibile impiego in questo ambito dei fotorivelatori e dell'argon.

Automobili visionarie

VisLab di Parma è attiva nel campo degli algoritmi di visione artificiale e dei sistemi intelligenti, e ha sviluppato un'automobile a guida automatizzata

Era il 1998 quando da Parma partiva un'automobile che, senza bisogno di essere guidata, percorreva mezza Italia: una Lancia Thema usata, modificata con due telecamere da citofono e un motorino sullo sterzo. L'automazione dello sterzo era guidata da un computer per allora potente, ma le cui prestazioni sono molto inferiori a un qualsiasi smartphone disponibile oggi.

A realizzare quel prototipo visionario un gruppo di ingegneri guidati da Alberto Broggi, allora ricercatore al Dipartimento di ingegneria dell'informazione dell'Università di Parma. Lo stesso gruppo che, dopo aver fondato lo *spin-off* VisLab e raffinato la sua tecnologia, a luglio scorso è stato capace di vendere la società a una grande azienda statunitense, Ambarella, per 30 milioni di dollari. «Siamo stati premiati per la ricerca che abbiamo sviluppato, ma anche per il nostro spirito d'intraprendenza, che ha caratterizzato tutte le fasi della nostra storia e che somiglia molto al modo di intendere l'innovazione nella Silicon Valley», spiega Broggi, oggi professore sempre nell'ateneo parmense.

L'occasione della DARPA Challenge

Nel 1990 lo studente Broggi era stato il primo laureato dell'Università di Parma in ingegneria elettronica, con una tesi sull'elaborazione di immagini grazie a processori di avanguardia. La ricerca era poi continuata durante gli anni di dottorato e lo aveva spinto, nei primi anni novanta, a installare quel sistema su un'automobile. «Insieme ad altri due ricercatori abbiamo cominciato a costruire il prototipo; in seguito nel 1998 abbiamo deciso che era venuto il tempo di metterci alla prova. Da qui nasce l'idea della piccola "mille miglia" in automatico», ricorda l'ingegnere. L'impresa arriva sui giornali, anche stranieri, e le aziende automobilistiche iniziano a contattare i ricercatori di Parma.

Nel 2001 Volkswagen li chiama per far partire un laboratorio di ricerca dedicato allo sviluppo di sistemi intelligenti basati sulla visione artificiale, e dopo qualche tempo si fanno vivi anche molti altri. «Ma abbiamo capito che i tempi erano maturi solo dopo le due competizioni DARPA Challenge a cui abbiamo partecipato, nel 2005 e nel 2007», va avanti Broggi. La Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), l'agenzia per la ricerca del Department of Defense statunitense, sa bene quanto valga la possibilità di automatizzare la guida di un veicolo e per questo organizza gare fra prototipi: nel 2005 si trattava di percorrere 210 chilometri nel deserto, nel 2007 di cavarsela nel traffico cittadino. «Sono le due sfide che hanno segnato la storia di questo campo di ricerca e sviluppo: è a partire dai risultati ottenuti in queste due occasioni che si è capito che era possibile realizzare un veicolo autonomo e sono cominciati ad arrivare i grandi investimenti», spiega Broggi.

Con un occhio al mercato internazionale, gli ingegneri di Parma decidono che è arrivato il momento di giocare la partita a un altro

LA SCHEDA

VisLab



Fatturato
n.d.



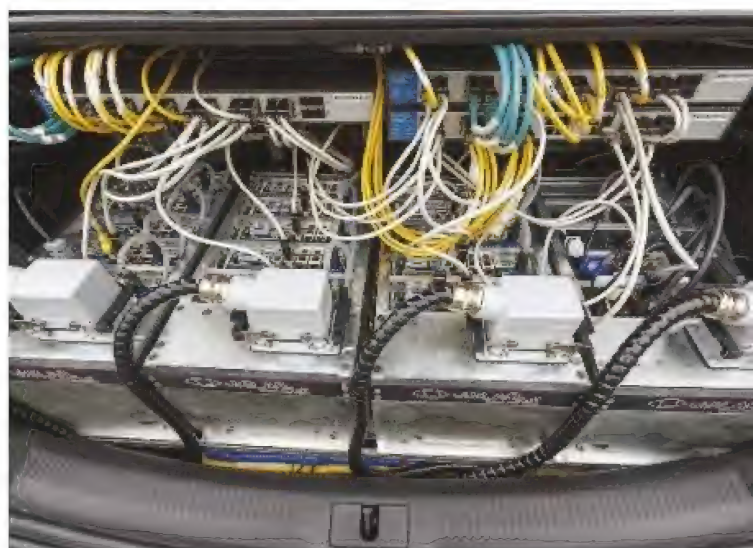
Investimenti in ricerca
100 per cento del ricavato



Dipendenti/collaboratori
30, tutti impiegati in R&S



Brevetti rilasciati
circa 15



livello, e fondano uno *spin-off*. Così nel 2009 nasce VisLab, a cui partecipa anche l'ateneo. A quel punto i ricercatori si sbizzarriscono: nel 2010 danno vita a un'idea azzardata, percorrere i chilometri che separano Parma da Shanghai con una flotta di veicoli modificati in modo da non aver bisogno di esseri umani alla guida. Il convoglio, formato da quattro automobili, quattro camper e tre camion, ha percorso strade di tutti i tipi, in condizioni meteorologiche assai variabili, in ambienti sconosciuti agli stessi ingegneri che li avevano programmati. «Una sfida eccitante che ci ha permesso di acquisire informazioni preziose sulla nostra tecnologia e di migliorare l'efficienza dei sistemi: abbiamo registrato tutto, e per mesi, una volta tornati a casa, abbiamo usato quei dati per mettere a punto un sistema sempre più sofisticato», dice Broggi.

Ma per essere sicuri che quanto sviluppato sia effettivamente quello che serve, gli ingegneri sanno che le macchine vanno messe alla prova, ancora una volta. Così un venerdì mattina del 2013, per le strade di Parma, un'automobile senza conducente è riuscita a percorrere senza incidenti e senza intervento umano la distanza fra università e centro cittadino. È la dimostrazione or-



Dentro la macchina.

L'interno di uno dei modelli di automobili che non necessitano di guidatore sviluppato da VisLab. Sotto, un modello di auto senza pilota sulla piazza del Campidoglio, a Roma. A fronte, una parte dell'hardware che permette all'automobile di VisLab di essere autonoma.



mai lampante che la tecnologia di VisLab funziona. «La peculiarità dei sistemi messi a punto dal nostro gruppo di ricerca è usare telecamere che acquisiscono informazioni da tutto ciò che sta intorno all'automobile, informazioni che poi sono elaborate dai nostri programmi in modo da capire l'ambiente circostante e sulla base di questo impartire ordini alla macchina», spiega Broggi. È un sistema economico, perché l'innovazione tecnologica fa sì che i dispositivi costino sempre meno, e che ha il vantaggio della miniaturizzazione: basti pensare alle telecamere inserite negli smartphone, potenti ma di dimensioni ridottissime.

Tecnologie a confronto

La tecnologia concorrente, quella che ha deciso di usare Google per la sua automobile senza guidatore, usa invece il laser: è capace di vedere a distanze molto grandi, è molto preciso, ma è anche una tecnologia costosa e ingombrante. Il dispositivo che «guarda» al posto del conducente che cosa succede per la strada è una specie di cupola piazzata sul tetto dell'auto. Il sistema di VisLab, invece, è praticamente invisibile, perché è innestato nella carrozze-

ria. La strada scelta dai ricercatori italiani ha convinto Ambarella, azienda specializzata nella compressione di immagini, a spendere 30 milioni di dollari per acquisire la tecnologia, accettando allo stesso tempo di lasciare il centro ricerche lì dove si trova.

«All'inizio ci hanno proposto di spostare tutto nella Silicon Valley, ma poi hanno capito che era stato questo tessuto sociale e culturale che aveva prodotto il nostro successo, e hanno accettato la nostra proposta di rimanere qui», spiega Broggi. «Per noi è un ulteriore successo: abbiamo restituito all'università quello che aveva investito, e continueremo a dare». Gli italiani metteranno quindi il loro programma nelle telecamere costruite dagli statunitensi, che per intenderci sono quelle delle *action cam* più famose al mondo, le GoPro. «Le prospettive che si aprono in questo campo sono numerose, non solo per i veicoli da strada. Penso che una delle applicazioni più interessanti sia in agricoltura: se rendessimo autonomo il lavoro dei campi potremmo aumentare la resa dei terreni in zone dove la resa è minima, aumentando così la quantità di cibo a disposizione», sottolinea l'ingegnere. E chissà che anche questa sfida non possa essere vinta.

Vino, geni e resistenza

C'è una via tutta italiana al miglioramento genetico in agraria. Bloccata dal peso di leggi troppo restrittive, a EXPO il ministro Martina ha promesso di farla ripartire

“Le biotecnologie sostenibili sono il futuro anche per l'Italia». A parlare è Maurizio Martina, ministro delle politiche agricole e forestali, intervenuto a sorpresa in un convegno sul vino che si è tenuto nel mese di luglio all'EXPO di Milano.

L'Esposizione Universale che sta per chiudersi ha presentato poche novità, poche visioni del futuro e poche risposte alla grande domanda su come nutrire il pianeta che faceva da sfondo alla manifestazione. Ma ci ha regalato alcune chicche, come questa che, fra tutte, forse è la più importante. Un impegno concreto del governo a investire su un settore chiave della ricerca, quello della genetica agraria, fermo ormai da più di quindici anni.

«Tra la fine degli anni novanta e gli inizi del nuovo millennio, l'Italia era all'avanguardia nella ricerca in campo biotecnologico», mi racconta Michele Morgante, neo-eletto presidente della Società italiana di genetica agraria, riferendosi a un periodo nel quale i centri di ricerca pubblici e le start-up biotecnologiche stavano lavorando su esigenze nostre, tutte italiane.

Certo, si trattava di OGM, ma non di quelli che siamo abituati a sentir nominare. Non pensate alla soia resistente ai diserbanti o al mais venduto dalle multinazionali. Qui si parla di prodotti della tradizione italiana come melo, pomodoro, peperone, vite, riso e ulivo, studiati per difendersi dalle malattie che rischiavano e rischiano ancora di decimare le coltivazioni o indurre i coltivatori a effettuare numerosi trattamenti con fitofarmaci. Un esercito di terracotta di più di 300 elementi, tutti sepolti dal peso di una legislazione che ha, di fatto, bloccato la ricerca pubblica in questo settore.

«Ancora oggi – continua Morgante – agli scienziati italiani, unici in Europa, è negata la possibilità di sperimentare in campo aperto piante OGM, relegandoci ancora di più alla periferia della ricerca scientifica internazionale». Alle parole di Morgante si uniscono quelle dure e rammaricate dei tanti genetisti agrari chiamati a raccolta a settembre in un convegno sempre all'EXPO organizzato dalle principali società scientifiche agrarie e dal CNR.

Lavorare sulle varietà tradizionali

Ma è tempo di lasciarsi queste vicende alle spalle, sostiene il ministro Martina, e di fare un passo avanti tornando a investire sulle biotecnologie agrarie in quella che in molti, lì all'EXPO, hanno definito la «via italiana» al miglioramento genetico. Accantonati, per il momento, gli OGM «classici», il ministro guarda in particolare a due strumenti che sono arrivati, nel tempo, ad arricchire la cassetta degli attrezzi del genetista agrario: il *genome editing* e la *cisgenesis*.

Queste tecniche, mi spiega Morgante, «consentono di lavorare sulle varietà tradizionali, rendendole più adatte all'agricoltura contemporanea, senza andare a modificare l'assetto genetico delle piante». La vite, per esempio, è una coltivazione che con i suoi 3 milioni di ettari di vigneti rappresenta solo il 3 per cento della superficie coltivata europea, ma ha un impatto ecologico



altissimo. Da sola, usa il 65 per cento di tutti i fungicidi usati in Europa, più di 60.000 tonnellate all'anno.

Parassiti come la peronospora o l'oidio sono temutissimi dai viticoltori, che per combatterli devono ricorrere a numerosi trattamenti, aggravando l'impatto ambientale della coltivazione. «La vite – spiega Morgante – non può fare a meno del miglioramento genetico, e il prezzo del fatto che i vitigni coltivati abbiano ormai parecchi secoli di storia si paga in termini di consumo di fitofarmaci». Come fare? Una delle strade possibili è quella di guardare all'interno della vite stessa, o meglio in alcuni esemplari selvatici che sono naturalmente resistenti a queste malattie.

I ricercatori hanno individuato i geni responsabili della resistenza a oidio (Ren1) e peronospora (Rpv2). Questi geni sono scudi molecolari che consentono alle piante che li posseggono di rimanere immuni a queste malattie. L'obiettivo degli agronomi è quindi quello di trasferirli alle varietà di interesse commerciale, come il Sauvignon o il Merlot, attraverso due strade principali.

I vigneti coprono solo il 3 per cento della superficie coltivata europea, ma consumano il 65 per cento di tutti i fungicidi. A fianco, una foglia colpita dalla peronospora e il ministro Maurizio Martina.



di Beatrice Mautino

Biologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)



Un Merlot che sa di Merlot

La prima è quella che Michele Morgante e il suo gruppo portano avanti da più di quindici anni, e consiste nell'incrociare le piante più volte per ottenere varietà resistenti, ma con caratteristiche organolettiche e commerciali interessanti. A volte però possono servire molti reincroci, che costano tempo e denaro, e non garantiscono la qualità del prodotto finale. È possibile che un gene chiave o un gruppo di geni, per esempio quelli che regolano l'aroma di un vino, siano andati persi e non si riesca più a reintrodurli. Tant'è che con un programma di ricerca che ha visto 40 combinazioni di incrocio per 10.000 progenie all'anno, il gruppo di Morgante è riuscito a ottenere soltanto una decina di varietà resistenti a oidio e peronospora in grado, forse, di andare sul mercato.

Ma si tratta di varietà nuove, con caratteristiche organolettiche diverse da quelle di partenza, anche se possono in qualche modo assomigliare loro. Se invece volessimo un Merlot che sappia di

Merlot e abbia tutte le caratteristiche del Merlot, ma che sia anche resistente a oidio e peronospora, allora dovremmo scegliere la seconda strada, che è quella che gli scienziati sperano di poter percorrere grazie alla promessa del ministro.

«Il *genome editing* ci permette, per esempio, di mutare o inattivare quei geni che rendono le piante suscettibili all'attacco di alcuni parassiti, rafforzandole, mentre con il cisgenico possiamo prendere i geni per la resistenza nelle piante che ne sono portatrici e trasferire chirurgicamente solo quelli alle piante che ci interessano». Insomma, fare un Merlot che sia in tutto e per tutto un Merlot, ma immune alle malattie.

Al momento queste tecniche soffrono di blocchi legislativi e di vuoti normativi che ne impediscono, di fatto, anche la ricerca. «Quindici anni fa abbiamo perso un treno importante, quello delle biotecnologie agrarie della prima generazione», spiega Morgante. Le dichiarazioni del ministro Martina fanno sperare che questa volta potremo salire a bordo.



I tanti aspetti di *Hallucigenia*

Questo organismo del Cambriano ha confuso per lungo tempo i paleontologi

I fossili non parlano da soli. Vanno interpretati e interrogati, ben sapendo che le nostre domande sono formulate sulla base di conoscenze pregresse che potrebbero essere fuorvianti. L'evidenza di un fossile enigmatico può sfuggire a lungo se ci affezioniamo troppo ai nostri preconcetti. Se poi il fossile è di un minuscolo animale di mezzo miliardo di anni fa, il rebus su come classificarlo si fa intricato.

Nel gran caravanserraglio delle forme pluricellulari che popolarono i bassi fondali del primo Cambriano, una spicca fra tutte per stranezza: è *Hallucigenia sparsa*, battezzata con questo nome dal paleontologo Simon Conway Morris nel 1977 a causa del suo aspetto «bizzarro e quasi onirico». Sembra un gioco per bambini: componete l'animale più assurdo che vi viene in mente assemblando sette paia di spine aguzze, altrettante paia di zampe tentacolari che terminano con qualcosa che somiglia a un artiglio bifido, un corpo allungato di forma cilindrica, una struttura tubolare più stretta dotata di tre paia di piccoli tentacoli, più un'altra estremità indefinita.

Lo scopritore del ricchissimo giacimento fossilifero canadese di Burgess Shale in cui *Hallucigenia* fu scoperta, Charles Doolittle Walcott, l'aveva scambiata semplicemente per un verme segmentato in mezzo a tanti altri. Con sguardo retrospettivo, il paleontologo della Smithsonian Institution cercò di ricondurre gli animali di Burgess alle forme attuali, ma nei decenni successivi i suoi allievi si accorsero che agli inizi del Cambriano l'evoluzione sembrava aver sperimentato con grande libertà le composizioni anatomiche più singolari.

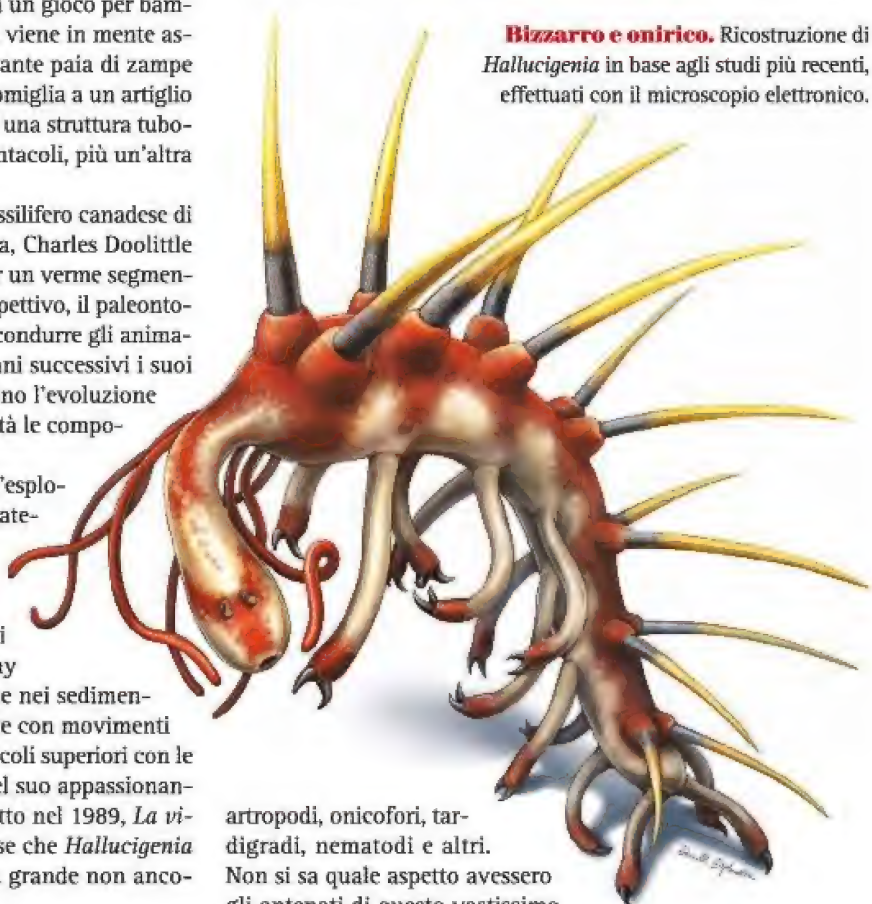
Qual è dunque il posto di *Hallucigenia* nell'esplosione del Cambriano? Presenta simmetria bilaterale e un insieme di strutture che si ripetono, per una lunghezza che va da 2 a 5 centimetri. Era diffusa nei mari cambriani, e suoi fossili sono stati trovati anche in siti cinesi coevi. Tutto il resto è un rompicapo. Conway Morris pensò che l'animale piantasse le spine nei sedimenti del fondale e si spostasse un po' goffamente con movimenti coordinati delle due fila di spine stesse. I tentacoli superiori con le chele dovevano invece servire per cibarsi. Nel suo appassionante racconto dell'epopea di Burgess Shale scritto nel 1989, *La vita meravigliosa*, Stephen J. Gould non esclude che *Hallucigenia* potesse essere l'appendice di un animale più grande non ancora identificato.

Si sbagliavano entrambi. L'animale era stato rappresentato alla rovescia... Le spine erano rivolte verso l'alto, con funzione di difesa, e i tentacoli (che sono in realtà dieci paia di zampe flessibili) verso il basso. Ora sappiamo che anche le due estremità erano da capovolgere: la struttura tubolare con ulteriori tentacoli più piccoli non era la coda bensì il collo, in cima al quale è stata di re-

cente identificata una testa dalla forma schiacciata con due occhi rudimentali. Martin R. Smith di Cambridge e Jean-Bernard Caron del Royal Ontario Museum di Toronto, muniti di microscopio elettronico, su «Nature» hanno da poco rimesso finalmente in ordine il puzzle di *Hallucigenia*. Hanno studiato in particolare la testa, scoprendo che bocca e gola erano armate di denti.

Hallucigenia ha 508 milioni di anni, ed è una delle prime ramificazioni del gruppo a cui oggi appartengono gli onicofori o vermi di velluto. La creatura potrebbe rivelare informazioni sulle prime fasi evolutive ancora ignote del super-gruppo degli Ecdysozoa, gli invertebrati protostomi con esoscheletro che fanno la muta, cioè

Bizzarro e onirico. Ricostruzione di *Hallucigenia* in base agli studi più recenti, effettuati con il microscopio elettronico.



artropodi, onicofori, tardigradi, nematodi e altri. Non si sa quale aspetto avessero gli antenati di questo vastissimo clade, ma forse avevano proprio bocca e faringe dentate, poi scomparse negli onicofori. Il ribaltamento e adesso il testacoda di *Hallucigenia* non le hanno tolto un certo fascino alieno. Le storie di evoluzione cominciano spesso con: «Da un così semplice inizio...». Qui invece l'inizio è già pieno di una fantastica diversità.



di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Le migrazioni dei primi indoeuropei

Genetica e linguistica aiutano a chiarire i movimenti dei nostri antenati in Eurasia

Lo studio del DNA e il confronto dei genomi stanno invadendo un po' tutti i campi della nostra conoscenza, del mondo di oggi e di quello di ieri o dell'altro ieri. È arrivato anche il momento della linguistica o, meglio, della derivazione storica delle lingue in connessione con le migrazioni dei popoli. Per la verità la cosa non è nuova. Già in passato molti studi sono stati condotti, in particolare dal nostro Luigi Luca Cavalli Sforza, per tentare di correlare varianti genetiche attuali e antiche migrazione di popoli e quindi di idiomi, ma gli strumenti e le metodiche attuali permettono di condurre studi ben più ampi e dettagliati. Adirittura due articoli sono apparsi recentemente (Allentoft e altri, in «Nature», vol. 522, pag. 167-172; Haak e al., in «Nature», vol. 522, pag. 207-211) sulla mappatura spaziale e temporale delle migrazioni che possono essere state alla base della diffusione di una ipotetica lingua proto-indoeuropea, un argomento sul quale i dotti dell'Ottocento e del Novecento hanno discusso a lungo.

Il proto-indoeuropeo è una lingua ricostruita da cui sarebbe derivata la quasi totalità delle lingue oggi parlate in Europa, in molte regioni dell'antico Iran e dell'India – specialmente le lingue proto-indiche susseguentemente codificate nel sanscrito – e perfino nella Cina occidentale, dove un tempo erano parlate le lingue denominate collettivamente tochari, ora scomparse.

Per queste ragioni si parlò di indoeuropeo o, con un velo di sciovinismo, indogermanico. Oggi si preferisce parlare di proto-indoeuropeo, ma il concetto è lo stesso. L'individuazione e l'approfondimento dell'indoeuropeo hanno fatto nascere e prosperare la linguistica storica, sicuramente uno dei monumenti più impressionanti del pensiero umano. Tutti questi studi ci hanno lasciato però in eredità un problema di localizzazione spaziale e temporale della regione d'origine di quella lingua. Due le ipotesi principali, a difesa delle quali si sono versati fiumi d'inchiostro fino all'altro ieri; io stesso ho letto e possiedo libri che difendono con molta dottrina e ardore l'una o l'altra ipotesi.

Una, a lungo la più accreditata, faceva derivare tutto dall'Anatolia, più o meno 7000 anni prima della nascita di Cristo. L'al-

tra localizzava invece la culla dell'indoeuropeo nelle steppe a nord del Mar Nero e a nord ovest del Mar Caspio, chiamate convenzionalmente steppe pontico-caspiche. Detto di passaggio, si tratta delle terre e delle popolazioni così ben descritte dalla raminga Io nel *Prometeo Incatenato* di Eschilo. Secondo questa seconda ipotesi la lingua indoeuropea si sarebbe diffusa fra 3700 e 2000 anni prima di Cristo, portata probabilmente da popoli di pastori forti dell'uso del cavallo e dei carri dotati di ruote, rappresentanti di quella civiltà che gli archeologi indicano come Yamnaya.

Chi aveva ragione? Nessuna risposta scientifica è mai esclusiva e perentoria, ma le cose sembrano propendere decisamente per la seconda ipotesi, con diversi sviluppi. Provo a riassumere.

Usando due approcci relativamente diversi, i due gruppi di ricerca hanno analizzato ciò che può essere successo nelle diverse regioni dell'Eurasia da circa 6000 a circa 900 anni prima di Cristo. Il primo e principale dato emerso è rappresentato dall'affinità genetica tra gli abitanti dell'attuale regione centrosettentrionale dell'Europa e quelli della regione dove a suo tempo fiorì la civiltà Yamnaya. Ciò non può che significare che nell'Età del bronzo c'è stata una massiccia migrazione verso occidente dei popoli originari di quest'ultima regione. Successivamente si sono avute migrazioni secondarie verso est, nella vasta regione a est del Mar Caspio e a nord-ovest dell'India, tanto di ritorno dall'Europa centro-settentrionale quanto dalla



La culla dell'indoeuropeo sarebbero state le steppe al nord del Mar Nero, come queste nella regione di Volgograd.

Yamnaya stessa, come dimostrato dalla parentela genetica fra gli abitanti delle tre regioni. Alcune popolazioni si spinsero poi ancora più a est, fino alla Cina e oltre, passando per strade che si trovano a nord delle catene dell'Himalaya.

Uno dei risultati secondari di queste ricerche ci ha detto che gli esseri umani hanno cominciato a digerire il latte anche da adulti soltanto nell'Età del bronzo, più o meno 2500 anni prima di Cristo, molto più recentemente di quanto si pensava fino a oggi. Anche questo è un dato interessante, che dimostra come tutto sia avvenuto piuttosto in fretta e in tempi relativamente recenti. Insomma, culturalmente siamo nati appena ieri, anche se siamo portati a pensare che tutto sia esistito da sempre.



La legge della pigrizia cosmica

A volte la fisica è illuminata da oscuri concetti di carattere metafisico

La meccanica ha ricevuto il suo fondamento matematico nel 1687, quando Newton diede nei *Principia* la definizione di forza che oggi noi esprimiamo con la formula $F = ma$. Altre definizioni (si veda la rubrica di luglio 2014) erano state date in precedenza da Galileo e Cartesio, da un lato, e da Leibniz, dall'altro, anche se in seguito si capì che in realtà avevano definito l'effetto della forza nel tempo e nello spazio, introducendo i concetti di impulso e di lavoro che oggi noi esprimiamo con le formule $Ft = mv$ e $Fs = mas$ (o, equivalentemente, $Fs = mv^2/2$).

A metà del Settecento un approccio completamente diverso fu introdotto da Pierre Louis Moreau de Maupertuis, in due lavori che fecero discutere: *L'accordo di leggi diverse apparentemente incompatibili*, del 1744, e *Le leggi del moto e della quiete dedotte da un principio metafisico*, del 1746. L'idea di Maupertuis fu introdurre il nuovo concetto di azione, che noi oggi esprimiamo con la formula $Fts = mvs$, e di fondare la meccanica sul principio di minima azione: tra tutte le traiettorie possibili, cioè, un corpo si muove lungo quella che rende minima l'azione.

Le discussioni al proposito vertevano sulla «metafisica» contenuta nel principio. Innanzitutto, il fatto che esso è di natura globale, invece che locale: in altre parole, mentre la legge di Newton permette di determinare la traiettoria punto per punto, Maupertuis isola solo l'intera traiettoria tra tutte quelle possibili. Poi, il fatto che proprio questa globalità sembra assegnare al principio una caratteristica «teleologica» e «finalistica»: in altre parole, sembra che il movimento sia determinato dai suoi effetti finali, più che dalle sue cause iniziali.

C'erano però dei precedenti, che alla luce del nuovo principio risaltarono esserne anticipazioni. Già nel primo secolo il greco Erone aveva notato che il cammino di riflessione seguito dalla luce che si muove in uno stesso mezzo segue il percorso più corto. Verso il 1000 l'arabo Alhazen aveva poi notato che il cammino di riflessione e di rifrazione seguito dalla luce che si muove in mezzi diversi segue il percorso più veloce. Maupertuis capì che la luce si muove in generale seguendo il percorso più pigro, rispetto a un'azione che combina lo spazio e la velocità.

Eulero difese il principio di Maupertuis fin da subito, perché intuì che si poteva dimenticarne la metafisica e interpretarlo in maniera puramente fisica. In una nota del 1744, *Sul moto delle particelle determinato con un metodo di massimi e minimi*, mostrò che era possibile derivare dal principio non soltanto la forma della traiettoria di un corpo in movimento, ma anche le equazioni classiche del moto.

L'intuizione di Eulero mostrò che non c'era contrapposizione fra l'approccio locale di Newton e quello globale di Maupertuis, basati rispettivamente sulle nozioni di forza e di azione. E nel 1755 Lagrange applicò il metodo di Eulero per risolvere il problema della tautocrona, cioè della curva di discesa gravitazionale di un corpo che impiega lo stesso tempo ad arrivare a terra, da qualunque punto della curva esso parta.

Lagrange generalizzò ulteriormente il metodo nella *Meccanica analitica* del 1788, e riformulò l'intera meccanica alla maniera di Maupertuis, con una differenza. Quest'ultimo aveva infatti definito l'azione Fts scomponendola nel prodotto dell'impulso Ft per lo spazio, facendo entrare in gioco la quantità di moto mv . Lagrange la scompose invece nel prodotto del lavoro Fs per il tempo, facendo entrare in gioco l'energia cinetica $mv^2/2$.

La sistematizzazione definitiva di questo approccio fu effettuata da Hamilton in *Un metodo generale della dinamica*, del 1834. Egli definì la lagrangiana L come la somma algebrica dell'energia cinetica e

dell'energia potenziale di un sistema meccanico, e la più generale hamiltoniana H come la somma algebrica di tutte le energie di un sistema qualunque. E mostrò che le equazioni del moto si possono derivare dalla condizione che il prodotto Lt o Ht sia stazionario: cioè un minimo, un massimo o un flesso.

L'approccio di Maupertuis fu poi adattato anche alla relatività e alla meccanica quantistica. Nella prima, per esempio, la traiettoria di un corpo in un campo gravitazionale è una linea di minima lunghezza chiamata geodetica. E nella seconda la costante di Planck che lega l'energia alla frequenza nella formula $E = h\nu$ è appunto un quanto di azione. A dimostrazione del fatto che le oscurità metafisiche a volte finiscono per illuminare la fisica.



Tra masse e forze. Pierre-Louis Moreau de Maupertuis in un dipinto del 1740 opera di Robert Tournières.



di Amedeo Balbi

Astrofizico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Nobel: è l'ora di Vera Rubin?

Le scoperte dell'astronoma provano l'esistenza della misteriosa materia oscura

Il 6 ottobre verranno assegnati i premi Nobel per la fisica, e come ogni anno con l'avvicinarsi della data ci si diverte a fare il gioco delle previsioni e delle preferenze: chi vincerà, chi ci piacerebbe che vincesses? Per quanto mi riguarda, ogni volta spero che sia quella buona per vedere premiata una signora dell'astronomia che è ormai da molti anni nella lista dei possibili candidati. Sto parlando di Vera Rubin, a cui dobbiamo una serie di osservazioni che hanno contribuito a cambiare la nostra visione dell'universo.

Negli anni settanta del secolo scorso Rubin, in collaborazione con l'astronomo Kent Ford, iniziò a raccogliere dati sulla rotazione delle galassie a spirale. Queste galassie (alla cui classe appartiene anche la nostra Via Lattea) sono composte da un nucleo centrale di forma pressappoco sferica, densamente popolato di stelle, e da un disco esterno piuttosto sottile contenente stelle, gas e polveri. Dal momento che il nucleo è la parte più luminosa della galassia, sarebbe normale aspettarsi che esso contenga anche la maggior parte della massa. Se così fosse, la velocità di rotazione delle stelle nel disco dovrebbe diminuire man mano che ci si allontana dal nucleo, proprio come avviene con le velocità dei pianeti in orbita attorno al Sole. La sorprendente scoperta di Rubin e Ford fu che ciò non avviene: la velocità di rotazione delle stelle periferiche resta più o meno costante, indipendentemente dalla distanza dal nucleo.

Questo comportamento apparentemente anomalo è stato in seguito confermato da altre osservazioni ed è oggi ritenuto una caratteristica fondamentale delle galassie a spirale. Quanto alla sua spiegazione, quella che ha preso piede nel corso dei decenni successivi è che la distribuzione di materia nelle galassie non corrisponda a quella della luce emessa, ma che ci sia invece molta massa non direttamente visibile, distribuita sotto forma di un enorme alone sferico che avvolge il disco. Insomma, la scoperta di Vera Rubin viene considerata una prova dell'esistenza di quella materia oscura che oggi riteniamo costituire circa un quarto del contenuto dell'universo.

Certo, non sappiamo ancora che cosa sia la materia oscura e manca la conferma diretta della sua esistenza; ma le osservazioni di Vera Rubin restano valide indipendentemente dalla possibile spiegazione, e sono di per sé degne di un Nobel per la fisica.

Speriamo che prima o poi anche a Stoccolma se ne rendano conto. Stranamente ci sono voluti appena tredici anni per premiare, nel 2011, la ben più recente scoperta dell'accelerazione dell'universo, nonostante l'energia oscura che ne è la probabile causa sia ancora più incerta e misteriosa della materia oscura. Oltretutto, un premio a Vera Rubin sarebbe un'occasione per aumentare, seppure di poco, la presenza femminile in una lista che vede solo due donne (Marie Curie nel 1903 e Maria Goeppert-Mayer nel 1963) tra i 199 vincitori del Nobel per la fisica.

D'altra parte Vera Rubin non è la prima astronoma a essere ignorata, nonostante i meriti, dall'Accademia svedese delle scienze.



Negli anni settanta Vera Rubin, raffigurata in questa composizione insieme alla galassia di Andromeda, scoprì un'anomalia nella velocità di rotazione delle stelle nelle galassie a spirale che oggi è considerata una delle principali prove dell'esistenza della materia oscura.

ze. Tristemente famoso il caso della scopritrice delle pulsar, Jocelyn Bell, che si vide scavalcata dal suo supervisore Antony Hewish. E Henrietta Leavitt, che con il suo lavoro sulle stelle Cefeidi consentì a Edwin Hubble di misurare per primo le distanze delle galassie e di osservare l'espansione dell'universo, morì prima che a qualcuno venisse in mente di nominarla per il premio.

Quando Vera Rubin iniziò a studiare astronomia, i corsi di dottorato in molte università statunitensi (tra cui Princeton) erano per soli uomini, e nel 1965 lei fu la prima donna autorizzata a usare il telescopio dell'osservatorio di Mount Palomar. Oggi ha 87 anni, il mondo è cambiato un po' anche grazie a lei, e anche per questo sarebbe bello vederla ricevere quel riconoscimento.



Una nuova specie umana

Homo naledi, scoperto in Sudafrica, è l'ultimo arrivato nella galleria degli antenati

Quell'uomo è davvero fortunato o, forse, è (anche) molto capace e intraprendente. Quell'uomo si chiama Lee Berger e, da alcuni anni ormai, avevamo imparato a conoscerlo come il ricercatore sudafricano che ha scoperto e descritto una nuova specie di *Australopithecus*, chiamata *A. sediba*, in uno dei siti in Sudafrica della cosiddetta *cradle of humankind* (la culla dell'umanità), l'area che rivalessa con i vasti territori dell'Africa orientale per il ruolo di *location* cruciale dell'evoluzione umana.

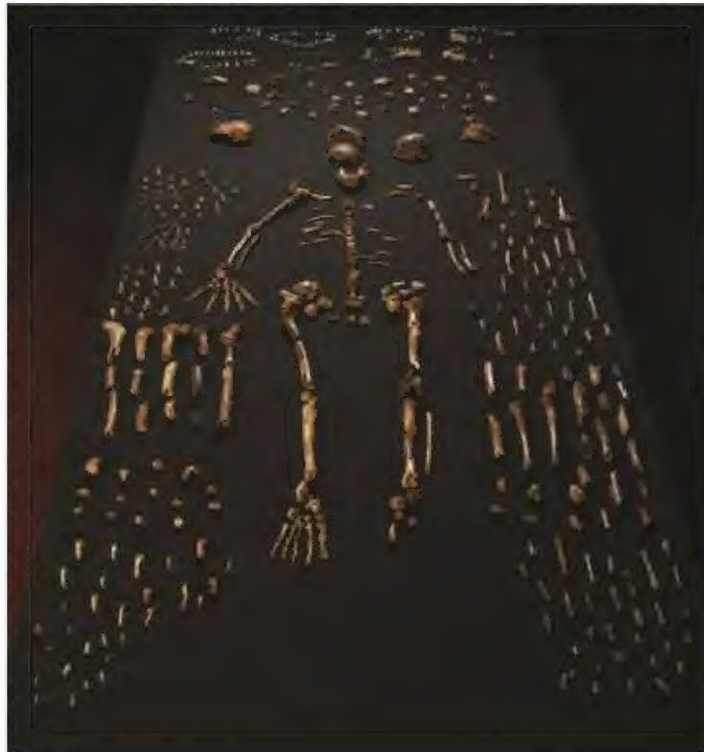
Se nel 2008 era stato suo figlio (che allora aveva nove anni di età) a consegnargli la clavicola da cui avevano preso avvio le ricerche nel sito carsico di Malapa e la scoperta di alcuni scheletri (scusate se è poco!) della nuova specie *A. sediba* (ne abbiamo parlato sul numero di gennaio 2012), questa volta sono stati due speleologi dalla taglia minuta, quasi come quella di un bambino, a rivelargli i segreti di un altro sistema carsico, chiamato Rising Star, anche questo a poche decine di chilometri da Johannesburg, in Sudafrica.

La scoperta è avvenuta a settembre 2013. Una volta dentro la grotta, i due speleologi si infilarono in un fessura chiamata Super-man's Crawl: è talmente schiacciata al suolo che, per passare, si deve strisciare con un braccio allungato in avanti e l'altro lungo il fianco. Arrivati in una vasta camera, si arrampicarono su uno dei versanti e in cima trovarono un'altra fessura, circolare questa volta, immersa fra le stalattiti. Si infilarono anche lì, penetrando in una sorta di camino che in alcuni punti è largo appena 20 centimetri, e alla fine, dopo circa una dozzina di metri di tortuosa discesa dall'imboccatura, si ritrovarono nella camera dei sogni di ogni paleoantropologo: il suolo era cosparso di una miriade di ossa, ossa e denti dappertutto, ossa e denti di ominide, di diversi ominidi...

Mentre scrivo, si sussurra appena la notizia negli ambienti specialistici, ma quando leggerete queste righe ne avrete già sentito rimbalzare l'eco poderosa dalle pagine della rivista *peer-reviewed* e *open access* «eLife» a quelle di «National Geographic» (la Society è uno dei finanziatori di questa nuova, formidabile ed emozionante avventura paleoantropologica) e a una varietà di testate giornalistiche e di siti web.

Gli sviluppi della storia si devono alle capacità, in primo luogo organizzative, di Lee Berger. Messe in *stand-by* le ricerche su *A. sediba* (non proprio a malincuore, direi), Lee reclutò sei giovani donne, scelte fra oltre 50 candidature di ricercatori che avevano risposto a un appello da lui fatto circolare via Facebook, dove si richiedevano credenziali sia scientifiche che speleologiche e una corporatura tale da potersi infilare in quello stretto camino del sistema carsico di Rising Star. Le mise al servizio di una squadra di una sessantina di scienziati provenienti da tutto il mondo che osservavano telematicamente e dirigevano da un accampamento-laboratorio allestito all'esterno il prelievo accurato e sistematico delle ossa e dei denti di quella camera delle meraviglie.

Poi è iniziato lo studio che ha portato alle pubblicazioni sulle riviste scientifiche, che sono ora salite alla ribalta e in cui si descrivono i resti di diversi sche-



Identikit. Lo scheletro incompleto di *Homo naledi* corredato di altri fossili, per un totale di 737 elementi anatomici completi o parziali.

letri appartenenti a una specie di ominide fino a oggi sconosciuta alla scienza (e della quale riparleremo). È una specie chiaramente riferibile a una forma primordiale di *Homo*, che potrebbe avere una datazione (al momento imprecisata) intorno a 2 milioni di anni fa. Qualcosa a metà strada tra le specie dell'Africa orientale note come *Homo habilis* e *Homo ergaster*; unico per la combinazione di caratteristiche dello scheletro (a cominciare dal cranio), tanto da meritare un nome nuovo: *Homo naledi*, da *dinaledi*, che in lingua sotho significa «camera delle stelle».

METEOROLOGIA

Alluvioni da inquinamento

Analizzato il legame tra impurità dell'atmosfera e forti precipitazioni piovose



In Cina.

Soccorsi a un'automobile rimasta bloccata a Guangyuan, nella provincia del Sichuan, a causa delle violente piogge del 2013. Lo studio dell'evento meteorologico ha sottolineato l'influenza dell'inquinamento atmosferico sull'entità delle precipitazioni.

Da tempo ormai la fisica dell'atmosfera studia i processi che conducono al fenomeno della pioggia. Tutto inizia con la condensazione del vapor d'acqua in gocce che vanno a costituire le nubi. Quando queste gocce raggiungono un diametro e un peso critici, possono cadere a terra sotto forma di pioggia. Oggi sappiamo anche che le impurità dell'atmosfera (come le polveri di qualsiasi origine) agendo come nuclei di condensazione possono accelerare questi processi, in particolare la condensazione e il raggiungimento di dimensioni notevoli delle gocce.

In questo ambito ci sono anche tentativi artificiali di usare certe polveri per innescare le piogge: qualcuno ricorderà che ai tempi delle Olimpiadi di Pechino, nel 2008, si diceva che i cinesi sparassero impurità nelle nubi per far piovere a monte del villaggio olimpico. Ebbene, proprio scienziati cinesi hanno studiato l'influenza del pesante inquinamento asiatico su un episodio di precipitazione violenta, che a luglio 2013 è sfociato in una terribile alluvione nel sud-ovest della Cina, in una regione, il bacino del Sichuan, in cui l'attività inquinante delle industrie è notevolmente aumentata negli ultimi decenni. Jiwen Fan e colleghi hanno pubblicato su «Geophysical Research Letters» una ricerca in cui hanno analizzato questo episodio alluvionale mediante un modello mete-

orologico-chimico ad alta risoluzione, che fosse in grado di vedere bene i fenomeni di intensa convezione in atmosfera e le interazioni con l'inquinamento.

Gli scienziati hanno simulato la situazione precedente all'alluvione e hanno cercato di prevederla, concentrandosi sull'intensità della pioggia caduta. Il modello ha dato risultati molto soddisfacenti quando sono stati considerati i dati reali di inquinamento e soprattutto la notevole influenza del *black carbon*, la fuliggine. La cosa interessante, però, è stata che, simulando uno scenario con livelli di inquinamento precedenti a quello osservati dopo la repentina crescita industriale, la precipitazione è diminuita del 60 per cento. Analizzando la fisica del modello si è anche capito come sia stato il forte inquinamento attuale ad agire sui meccanismi di convezione e trasporto, determinando quelle precipitazioni eccezionali che hanno portato all'alluvione.

Insomma, se ci fosse stato meno inquinamento forse quell'alluvione non ci sarebbe stata. Questo spinge a considerare come una riduzione dell'inquinamento non sia solo benefica per la salute, ma possa anche limitare i danni delle precipitazioni, che già di per sé stanno diventando più violente in questo mondo più caldo.

Antonello Pasini

FISICA TEORICA

Buchi neri con il bernoccolo

Elaborato un test per verificare la teoria della relatività generale in condizioni di gravità estrema



In un secolo di storia la teoria della relatività generale ha superato numerose verifiche sperimentali, ma sempre in condizioni di campo gravitazionale relativamente debole. Per questo motivo i fisici sono alla ricerca di nuove tecniche per mettere alla prova la teoria in condizioni di campo forte. L'ultimo studio teorico porta la firma di Christopher Moore e Jonathan Gair, dell'Institute of Astronomy di Cambridge, che di recente hanno pubblicato i risultati delle loro ricerche su «Physical Review D».

Moore e Gair hanno concentrato la loro attenzione sui buchi neri, banco di prova d'eccellenza per studiare la struttura dello spazio-tempo in condizioni di gravità estrema. In particolare hanno studiato la cosiddetta soluzione di Kerr (da Roy Kerr, il matematico neozelandese che la calcolò per primo, nel 1963), cioè la geometria dello spazio-tempo in prossimità di un buco nero rotante privo di carica. Secondo il teorema *no-hair* (senza capelli, noto anche come teorema dell'essenzialità), infatti, un buco nero è completamente caratterizzato da massa, carica elettrica e momento angolare.

Tuttavia le osservazioni dimostrano che i buchi neri sono elettricamente neutri, per cui la metrica dello spazio-tempo individuata dalla soluzione di Kerr è quella che più si avvicina alle condizioni reali, almeno dal punto di vista teorico. In effetti, della sua correttezza non esiste ancora alcuna prova sperimentale.

Per individuare un possibile metodo per mettere alla prova osservativa la soluzione di Kerr, i due ricercatori hanno sviluppato modelli numerici di buchi neri con geometrie che deviano da quella descritta dalla soluzione di Kerr. Le deformazioni risultanti sono state chiamate *bump*, bernoccoli. Quello che si osserva attorno a un buco nero è l'intensa radiazione emessa dal gas caldo presente nel disco di accrescimento, le cui caratteristiche dipendono proprio dall'intensità del campo gravitazionale del buco nero. Le simulazioni di Moore e Gair dimostrano che dall'analisi spettrale di questa emissione nei raggi X è possibile individuare il tipo di geometria dello spazio-tempo in cui si muove il gas. Non resta che verificare.

Emiliano Ricci

Materia e antimateria hanno massa uguale, parola di ALICE

I nuclei di antimateria hanno la stessa massa dei corrispondenti nuclei di materia. A stabilirlo è stato un gruppo di fisici italiani dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN), che ha lavorato su dati raccolti dal rivelatore ALICE, in funzione presso il Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra. Per arrivare a questo risultato, pubblicato su «Nature Physics», i ricercatori hanno sfruttato le collisioni ad alta energia fra nuclei di piombo prodotte all'interno di LHC per selezionare un campione composto da un milione di nuclei di antideuterio (il deuterio è un isotopo dell'idrogeno composto da un protone e un neutrone) e da migliaia di nuclei di antielio-3 (l'elio-3 è l'isotopo più leggero dell'elio, composto da due protoni e un neutrone).

Per misurare l'eventuale differenza di massa fra i nuclei di antimateria del campione e i corrispondenti nuclei di materia, la collaborazione si è avvalsa di un rivelatore appositamente realizzato: il TOF (*time of flight*, tempo di volo), in pratica un cronometro capace di risolvere intervalli di tempo pari a 80 picosecondi (80 millesimi di milionesimi di secondo). Misurando i tempi di arrivo dei nuclei e degli antinuclei sul rivelatore è possibile determinare le relative masse. Le misure realizzate dimostrano che, entro i limiti imposti dalle incertezze sperimentali, le differenze di massa fra nuclei e corrispondenti antinuclei sono pari a zero.

L'alta risoluzione temporale del TOF ha permesso di ottenere precisioni mai raggiunte: ora la stima della differenza di massa fra deuterio e antideuterio è nota con una precisione di una parte su 10.000, mentre per l'elio-3 di una parte su 1000. Queste misure seguono quelle realizzate al CERN cinquant'anni fa, che per la prima volta dimostrarono l'esistenza dell'antideuterio, ovvero di antimateria aggregata, e confermano, almeno al livello dei nuclei leggeri, la validità dell'invarianza CPT, una simmetria fondamentale della natura secondo cui le antiparticelle hanno la stessa massa, ma carica opposta delle corrispondenti particelle.

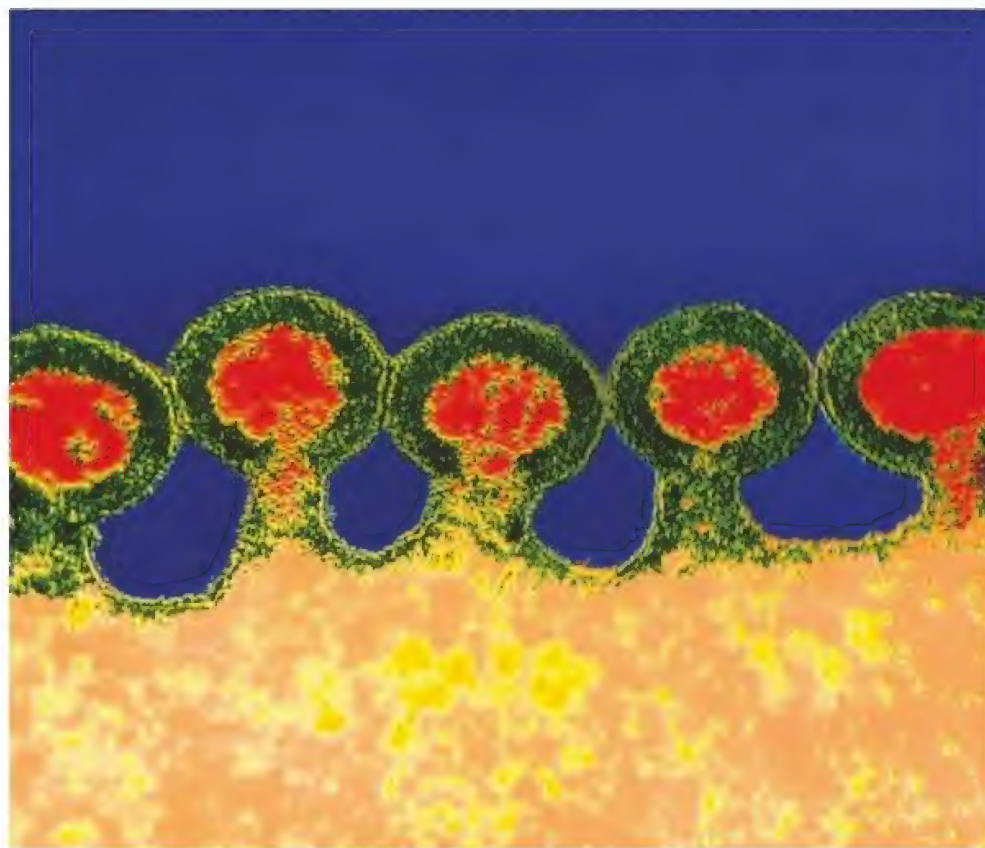
Emiliano Ricci



MICROBIOLOGIA

Quando i retrovirus attaccarono i primati

La prima infezione da parte della famiglia dell'HIV avvenne tra 11 e 16 milioni di anni fa



Non prima di 16 e non oltre 11 milioni di anni fa: in questo intervallo di tempo avvenne la prima infezione a danno dei primati da parte dei lentivirus, la famiglia di retrovirus a cui appartengono l'HIV, ovvero il virus dell'immunodeficienza umana, e il SIV, vale a dire il suo corrispettivo che attacca le scimmie. A sostenerlo è un gruppo di ricercatori della Harvard Medical School e del Boston College in uno studio su «PLoS Pathogens».

Per giungere a queste conclusioni, i biologi hanno ricostruito la storia evolutiva del gene *TRIM5*, appartenente a una famiglia genica coinvolta nei processi di contrasto della replicazione dei virus nelle cellule ospiti. A differenza di molti altri geni della stessa famiglia che hanno un'azione antivirale generica, *TRIM5* è specifico per il contrasto dei retrovirus. Il suo sequenziamento in 22 specie di attuali primati africani ha quindi permesso di ricostruire la cronologia delle infezioni di questi patogeni sui primati del Vecchio Mondo, testimoniate dalla presenza di mutazioni adattative nella sequenza del gene volto a contrastarli. I risultati indicano che

l'inizio dell'infezione dei lentivirus avvenne tra 11 e 16 milioni di anni fa nelle scimmie cercopitecine, la sottofamiglia che comprende macachi e babuini, subito dopo la loro separazione dalle colobine, il gruppo a cui appartengono colobi, entelli e presbìti.

A conferma di questa ipotesi, i ricercatori hanno ricostruito artificialmente 19 varianti del gene *TRIM5*, sia estinte che ancora esistenti, che sono state poi messe a contatto con 16 diversi retrovirus. L'esperimento ha mostrato che i geni mutati in seguito alla divergenza tra le due sottofamiglie conferiscono resistenza ai lentivirus tipici delle cercopitecine, ma non hanno effetti sugli altri retrovirus, compresi i lentivirus che colpiscono primati differenti. Inoltre le diverse varianti di *TRIM5* sembrano specializzate nel contrasto dei virus che colpiscono singole specie, indicando un intenso processo coevolutivo tra ospiti e parassiti, culminato con l'origine dell'HIV, generatosi in seguito a mutazioni del SIV, che la nostra specie non è ancora in grado di fronteggiare.

Andrea Romano

L'origine dei fiori

Forse i primi fiori non sono sbocciati sulla terraferma ma in acqua. L'ipotesi è rilanciata sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da David Dilcher, dell'Università dell'Indiana a Bloomington. Origine e rapida diversificazione delle angiosperme, le piante con fiori, restano controverse oggi come ai tempi di Charles Darwin. Le analisi molecolari ne collocano la grande radiazione evolutiva fra i 210 e i 130 milioni di anni fa, con i valori più accreditati intorno ai 150 milioni. Quanto alle ascendenze, da alcuni anni si ritiene che alla base della linea evolutiva ci sia un minuscolo arbusto terrestre, *Amborella*. «Ma diverse specie altrettanto primitive sono acquatiche, tanto da aver conteso ad *Amborella* il ruolo basale», osserva Dilcher. La contesa è ora ravvivata dalla sua analisi di oltre 1000 esemplari di una specie fossile di 125 milioni di anni fa, *Montsecchia vidalii*, che si dimostra un'angiosperma acquatica, molto affine al genere acquatico vivente *Ceratophyllum*, un tempo ritenuto alla base delle angiosperme prima che gli studi molecolari promuovessero *Amborella*. Questo nuovo studio, e altri fossili acquatici altrettanto antichi e diversi per morfologia e habitat, mostrano almeno che le prime angiosperme prosperarono nelle acque quanto a terra, e impongono di riconsiderare l'origine.

Giovanni Sabato

GENETICA

Alle radici della diversità umana

Duplicazioni e delezioni del DNA sono rilevanti per le differenze genetiche tra popolazioni

La **diversità genetica umana** continua a mostrarsi sempre più ampia e sfumata. Le variazioni finora più indagate perché più facili da analizzare, le mutazioni puntiformi dei singoli nucleotidi, ne costituiscono solo una frazione e non ne rendono un'idea adeguata. Molto rilevanti, nel determinare le differenze fra le popolazioni, sono anche le variazioni del numero di copie, ovvero le delezioni (perdite) e soprattutto le duplicazioni di lunghi tratti di DNA, le più trascurate per la difficoltà di individuarle. Lo mostra un'analisi approfondita dei genomi di oltre 230 persone appartenenti a 125 popolazioni di tutti i continenti, presentata su «Science» da un vasto gruppo guidato da Evan Eichler, dell'Università di Washington a Seattle.

Il genoma ancestrale umano ricostruito da questa analisi è stato confrontato con quelli delle popolazioni odierne, di alcune popolazioni antiche e di due specie umane estinte, neanderthaliani e denisoviani. Si è visto così che gli eventi di delezione o duplicazione, pur essendo meno frequenti delle mutazioni puntiformi, costituiscono una fonte di varia-

zione sette volte maggiore, dato che in media comportano la perdita o il guadagno di oltre 7000 copie di basi ciascuno. Le differenze nelle variazioni del numero di copie sono molto marcate fra le popolazioni non africane, e mostrano i segni di una selezione attiva nei loro riguardi, il che fa pensare che abbiano dato contributi importanti agli adattamenti e alla diversificazione delle popolazioni che hanno colonizzato il pianeta dopo l'uscita dall'Africa. Anche gli incroci con i denisoviani, una delle specie umane arcaiche con cui ci siamo ibridati, hanno lasciato tracce in cospicue duplicazioni presenti in popolazioni dell'Oceania.

Eichler conta ora di approfondire gli studi indagando come le variazioni del numero di copie hanno influito sul destino di specifici geni o di altre sequenze dalle funzioni note, così da leggere le storie evolutive che questi eventi raccontano, sulle migrazioni delle diverse popolazioni lungo il pianeta e sulle pressioni selettive e demografiche che le hanno plasmate.

Giovanni Sabato



I moscerini malati aumentano la variabilità genetica dei figli



La genetica è un'arma molto potente per affrontare i nemici. Lo sa bene il moscerino della frutta (*Drosophila melanogaster*), che se attaccato da parassiti genera una progenie dalla variabilità genetica più elevata rispetto al normale. In questo modo, i nuovi nati hanno più possibilità di sconfiggere una nuova infezione. Come in tutti gli animali a riproduzione sessuale, anche nei moscerini la formazione dei gameti è affidata alla meiosi, un processo che genera cellule con un corredo cromosomico singolo. In ciascun gamete, i cromosomi possono essere di origine materna, paterna oppure un mix tra i due grazie a un processo di ricombinazione genetica. Ebbene, i figli dei moscerini malati hanno più cromosomi mixati rispetto a quello che ci si aspetterebbe dal semplice calcolo delle probabilità. La scoperta, pubblicata su «Science», è di Nadia Singh, della North Carolina State University, e del suo gruppo che hanno infettato esemplari di *Drosophila* con due specie di batteri patogeni e una vespa parassita che depone le uova nelle larve del moscerino divorandole dall'interno. Analizzando il genoma della progenie delle femmine sopravvissute, i ricercatori hanno osservato un livello di variabilità genetica più elevato di quello osservato nella progenie di moscerini sani. La cosa sorprendente è che questo avveniva anche se l'infezione arrivava nella fase larvale, molto prima del raggiungimento della maturità sessuale. L'ipotesi avanzata è che l'aumento della variabilità genetica della progenie non sia dovuto a un aumento del livello di ricombinazione genetica di per sé, ma a un processo, noto come «distorsione di segregazione», per cui i gameti che arrivano a fecondazione sono soprattutto quelli con cromosomi ricombinanti (oppure, in alternativa, i gameti o gli embrioni ricombinanti sono i più vitali). Resta da capire come l'infezione inneschi la cascata di segnali che porta alla nascita della progenie ricombinante e se il fenomeno riguardi anche altre specie, nel qual caso «avremmo scoperto una modalità del tutto inaspettata con cui i genitori influiscono sulla fitness dei figli», spiega Singh.

Martina Saporiti

#ITALIACASATUA

www.valtes.it 2011 © FAI - Fondo Ambiente Italiano

- 32 tesori d'arte e natura
- 400.000 mq di giardini
- 14.000 mq di affreschi

29€ ^{ANZICHÉ} ~~39€~~ /ANNO

TRATTATIVA RISERVATA FINO AL 31 OTTOBRE

L'Italia è casa tua e il suo patrimonio d'arte, natura e cultura appartiene a te e a tutti noi. Il FAI - Fondo Ambiente Italiano, da oltre 40 anni, grazie all'aiuto di tutti coloro che lo sostengono, si impegna per proteggerlo, curarlo e permettere a sempre più persone di vivere esperienze uniche a contatto con la bellezza.

AIUTACI ANCHE TU. ISCRIVITI AL FAI!

Ti aspettano innumerevoli vantaggi come l'ingresso gratuito nei 32 luoghi FAI aperti al pubblico e sconti fino al 50% in oltre 1000 realtà culturali italiane.

Per tutto il mese di ottobre, per i nuovi iscritti, una quota speciale di benvenuto: 29€ invece di ~~39€~~.



ITALIA CASA TUA.IT

NEUROSCIENZE

Come si forma la complessità del pensiero

I diversi livelli di attivazione di un'area cerebrale permettono di costruire significati complessi



Combinare alcune semplici parole per formare pensieri complessi e strutturati è una capacità unica del cervello umano. Per esempio combinando il significato di «morso», «cane» e «bambino», possiamo pensare che un cane abbia morso un bambino, o che un bambino abbia morso un cane.

Il filosofo e naturalista Wilhelm von Humboldt definiva questa caratteristica del nostro linguaggio un «uso infinito di mezzi finiti», in quanto il cervello, a partire da un insieme finito di parole, è in grado di esprimere un numero infinito di idee complesse.

Secondo uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», questo processo avviene grazie a un'area della corteccia temporale superiore dell'emisfero sinistro (ImSTC). Qui, frasi speculari come quelle viste all'inizio, «cane morde bambino» e «bambino morde cane», attivano in maniera differente i circuiti della ImSTC seguendo uno schema specifico. Alcuni circuiti, per esempio, rispondono alla domanda «chi fa cosa», e altri al suo inverso «cosa viene fatto a chi». La ImSTC, quindi, è coinvolta nella codifica di variabili semantiche

differenti che permettono di costruire significati complessi.

Per confermare questa ipotesi, ossia la capacità della ImSTC di distinguere frasi con significati speculari, i ricercatori hanno confrontato l'attività di quest'area con quella dell'amigdala, che gestisce il livello emotivo degli stimoli. L'amigdala si dovrebbe attivare in modo differente rispetto al significato della frase, e lo stesso vale per i circuiti della ImSTC.

Ed è proprio quanto è emerso dall'esperimento. Per esempio, con la frase «il bambino morde il cane», la risposta dell'amigdala è moderata perché si osserva un comportamento sbagliato, ma che non desta particolare preoccupazione, né per il bambino, né per l'animale. La sua speculare invece, «il cane morde il bambino», scatena una forte risposta dell'amigdala perché descrive un'evidenza che turba in maniera maggiore. L'esperimento conferma quindi la presenza di differenti modelli di attivazione nella ImSTC, modelli che hanno permesso al linguaggio umano di raggiungere una complessità altrimenti impensabile.

Mattia Maccarone

Il perché delle pupille a fessura

Perché i gatti hanno quegli inquietanti occhi da rettile, con le pupille verticali? Questa domanda se l'è posta anche l'optometrista Martin Banks, dell'Università della California a Berkeley, rispondendo con uno studio pubblicato su «Science Advances», in cui ha preso in esame gli occhi e l'ecologia di 214 specie animali.

Il principale vantaggio della pupilla a fessura, spiega Banks, è consentire una grande variabilità nella quantità di luce che arriva alla retina, permettendo di vedere bene sia di giorno sia di notte: la superficie della pupilla del gecko, per esempio, varia fino a 300 volte, contro le 15 di quella umana. Avendo occhi posti frontalmente, le fessure verticali sono poi le migliori per giudicare le distanze, soprattutto quando si è piccoli e vicini al suolo, mentre se gli occhi sono ai lati del cranio le pupille a fessura orizzontale, sono ideali per avere il massimo campo visivo. Queste caratteristiche fanno sì che gli animali con le pupille a fessura verticale siano in genere piccoli predatori che cacciano sia di notte sia di giorno, mentre quelli con la pupilla a fessura orizzontale, come le capre, siano erbivori che abitano spazi aperti e che quindi devono individuare minacce provenienti da ogni direzione. Gli animali che non hanno bisogno di capacità visive così specializzate, come noi, hanno invece «banali» pupille rotonde.

Alex Saragosa

GENETICA

L'insolito genoma del polpo

La prima mappatura completa del DNA di un cefalopode ha rivelato numerose sorprese

I polpi sono stati incoronati da tempo tra gli invertebrati più intelligenti. Il loro sistema nervoso è strutturalmente e fisiologicamente complesso, e le proporzioni relative tra il cervello e il resto del corpo giustificano il nome della classe di molluschi a cui appartengono: «cefalopodi».

Questa proverbiale intelligenza, tuttavia, non era mai stata analizzata a livello genetico. A compiere un'accurata analisi dei geni dei polpi ci ha pensato di recente una collaborazione internazionale riunita nel Cephalopod Sequencing Consortium, che ha sequenziato il DNA di *Octopus bimaculoides*, una specie tipica della costa della California. Il lavoro, pubblicato su «Nature», rappresenta la prima mappatura genetica completa di un cefalopode, e fornisce informazioni interessanti e per molti versi inaspettate.

A sorprendere sono anzitutto le dimensioni del genoma: 33.000 geni codificanti per un totale di 2,7 miliardi di coppie di basi. Sono cifre significative anche rispetto al DNA umano, il cui numero di geni codificanti per proteine è stimato intorno ai 20.000-25.000.

Particolarmente importante è l'espansione di poche famiglie di geni specifici, tra cui

spiccano le protocaderine, che regolano lo sviluppo del sistema nervoso. Il polpo ha 168 di questi geni: un numero dieci volte maggiore rispetto a qualsiasi invertebrato, e doppio rispetto ai mammiferi.

I ricercatori sono stati colpiti anche dalla grande diffusione di riarrangiamenti genetici. I geni *Hox*, per esempio, che controllano il piano di sviluppo dell'organismo, di norma si concentrano in un'area specifica del genoma, ma nel polpo sono diffusi un po' ovunque, beneficiando di diversi fattori di regolazione. Per dare un'idea dell'effetto complessivo, gli autori suggeriscono l'immagine di un frullatore in cui i geni di un tipico invertebrato sono rimescolati e riarrangiati a formare l'inedita struttura del genoma del polpo.

Nell'ambito del genere *Octopus* sono emersi anche molti nuovi geni, coinvolti nei meccanismi di sviluppo del sistema nervoso, nella sensibilità dei chemiorecettori delle ventose e nelle capacità mimetiche. Le analisi di questi geni specifici permetteranno di fare luce sulla filogenesi dell'intera classe dei cefalopodi.

Fabio Perelli



Evoluzione dello scheletro umano: novità da Sima de los Huesos



L'attuale conoscenza sull'evoluzione dello scheletro del genere *Homo* è basata sulla descrizione di uno scarso numero di fossili, dispersi su una vastissima scala geografica e cronologica. Questa limitatezza nel record fossile ha reso quindi difficoltosa la ricostruzione delle traiettorie evolutive dello scheletro «umano», portando anche alla formulazione di ipotesi contrastanti, nonché l'analisi della variabilità esistente entro le singole specie. Da circa vent'anni è però disponibile il materiale proveniente dalla grotta di Sima de los Huesos, nella Spagna settentrionale, dove sono stati dissotterrati oltre 6700 frammenti umani, risalenti a 430.000 anni fa e appartenenti ad almeno 28 individui. Sebbene molti di quei resti siano formalmente attribuiti a *Homo heidelbergensis*, da cui si ritiene abbiano avuto origine uomini moderni e Neanderthal, non è ancora chiaro quale specie abitasse la regione in quel periodo. Quello che sembra più chiaro è invece la stretta parentela tra gli abitanti di Sima de los Huesos e i Neanderthal, suggerita da studi sia genetici sia morfologici. L'ultimo di questi, pubblicato su «PNAS», ha infatti analizzato il più vasto campione di quei fossili, confermando la presenza di numerosi tratti anatomici che si ritroveranno successivamente nei Neanderthal: in particolare, gli abitanti di Sima de los Huesos erano di statura superiore rispetto alle specie di *Homo* precedenti e presentavano una corporatura robusta e muscolosa. Tuttavia nei fossili sono assenti diversi tratti tipici dei Neanderthal, tra cui la loro marcata encefalizzazione, indicando una loro evoluzione successiva con tempistiche diverse.

Oltre a fornire indicazioni sull'evoluzione della nostra specie sorella, questo gruppo di individui è anche fondamentale per la ricostruzione dell'evoluzione ossea del genere *Homo* nel suo complesso. La loro anatomia media ricade infatti nel piano corporeo delle specie umane robuste, come molte di quelle vissute nel milione e mezzo di anni che li precedette. Il lignaggio che ha portato a *H. sapiens* avrebbe quindi attraversato una lunga fase di stasi evolutiva, seguita da un successivo ingrassamento con l'emergere della nostra specie.

Andrea Romano

Come nascono le montagne



Come la crosta terrestre si deforma a formare le catene di montagne era un enigma sepolto a decine di chilometri di profondità. Un'ipotesi suppone che, quando due placche tettoniche collidono, tutta la crosta, fino al mantello, venga schiacciata e sollevata. Secondo altri modelli invece l'orogenesi interessa solo uno strato superficiale: gli strati profondi resterebbero quasi indisturbati. Ora una scansione della crosta terrestre fino a 30 chilometri sotto Taiwan – isola montuosa sorta dalla collisione tra la placca eurasiatica e quella delle Filippine – permette di risolvere il dilemma.

Grazie a una rete di sensori sismici, i geologi dell'Università di Taiwan hanno misurato come si propaga il rumore sismico di fondo a seconda della sua direzione, che indica come sono orientate le rocce rispetto al moto delle placche. I dati, pubblicati su «Science», supportano aspetti di entrambe le ipotesi. A sollevarsi in seguito alla collisione in effetti è solo uno strato superficiale, profondo fino a 10-15 chilometri. La crosta profonda resta però a stretto contatto, stirata e plasmata dallo scorrimento della placca continentale sotto la più densa placca oceanica. Resta ancora da vedere se il meccanismo sia comune ad altre formazioni montuose. (MaSa)

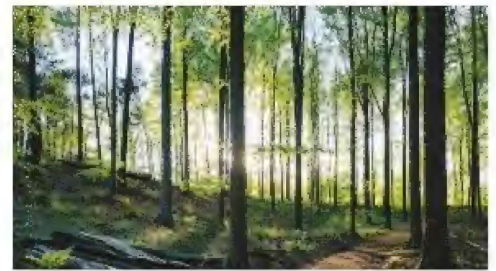
Il segreto del successo? Titoli corti

La qualità della scrittura può giovare al successo di una ricerca scientifica. A quanto pare sì, almeno per quel che riguarda il titolo.

Adrian Letchford, dell'Università di Warwick, e colleghi hanno analizzato i titoli dei 140.000 articoli *peer review* più citati nel database Scopus e pubblicati fra il 2007 e il 2013. Letchford e colleghi hanno osservato che i titoli più brevi appartengono ai lavori più citati da altri articoli, una delle misure usate dalla comunità scientifica per stabilire l'importanza di uno studio. Nello specifico, gli articoli delle riviste che richiedono agli autori di usare titoli brevi sono più citati di quelle che lasciano maggiore libertà. Ma non solo: all'interno della stessa rivista gli articoli con i titoli più brevi hanno maggiore successo.

La ricerca non permette però di trarre conclusioni definitive, e molti l'hanno criticata per non aver tenuto conto di tutte le variabili che avrebbero potuto influenzare il risultato. Letchford ammette che servono ulteriori approfondimenti, ma che il suo lavoro mette comunque in guardia gli scienziati sulla necessità di farsi capire e li stimola a sviluppare doti di comunicazione, compresa una scrittura chiara, comprensibile e in grado di attirare l'attenzione del lettore. La ricerca è stata pubblicata sulla rivista «Royal Society Open Science». (FeSg)

Tutti gli alberi del mondo



Gli alberi dell'intero pianeta sono circa 3000 miliardi, quasi otto volte più di quanto si pensasse. Ma stanno calando in fretta: i 15 miliardi abbattuti ogni anno sono sostituiti solo da 5 miliardi di nuovi esemplari nati o piantati. Dall'avvento delle civiltà stanziali, 12.000 anni fa, il loro numero è calato del 46 per cento. Lo mostra un'analisi che integra i dati satellitari sulla copertura forestale nelle varie aree del pianeta – su cui si basavano le stime precedenti – con oltre 400.000 rilevazioni al suolo nelle regioni e negli ambienti più vari, che ha permesso di quantificare con molta più precisione la densità delle foreste mostrate dai satelliti.

Un team guidato da Thomas Crowther, di Yale, riferisce su «Nature» che quasi 1400 miliardi di alberi vivono nelle foreste tropicali, 740 miliardi nelle fredde regioni boreali e 610 in quelle temperate. La densità dipende ovviamente da vari fattori, ma in ogni ecosistema il ruolo di gran lunga preponderante è quello dell'uomo. (GiSa)

La lenta morte dell'universo

L'universo si sta lentamente spegnendo. Lo dimostra una ricerca condotta da un gruppo di astronomi guidati da Simon Driver, dell'International Centre for Radio Astronomy Research della University of Western Australia, i cui risultati saranno pubblicati su «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society».

Driver e collaboratori hanno analizzato i dati raccolti nell'ambito del progetto GAMA (Galaxy And Mass Assembly), che impiega telescopi sia a terra che spaziali per un'estesa *survey* multibanda, con lo scopo di mappare e confrontare l'energia prodotta a diverse età dell'universo. In particolare, gli astronomi hanno calcolato l'energia totale generata all'interno di un volume molto grande ma ben definito di spazio, analizzando la radiazione emessa a diverse lunghezze d'onda da oltre 200.000 galassie dell'universo locale.

Il valore trovato mostra che nella regione di universo sottoposta a indagine l'attuale produzione di energia è pari a circa la metà di quella stimata in 2 miliardi di anni fa. La diminuzione è sistematica, e riguarda tutte le lunghezze d'onda analizzate, dall'ultravioletto all'infrarosso lontano. Che l'universo stesse andando incontro a una morte lenta e inesorabile era noto da tempo, ma questa ricerca dimostra per la prima volta che il processo di spegnimento coinvolge praticamente tutto lo spettro elettromagnetico. (EmRi)



La vaccinazione delle api



Gli insetti non hanno anticorpi come i vertebrati, eppure le femmine riescono a trasmettere alla prole le difese immunitarie generate durante l'incontro con batteri e virus. Ma come? Una ricerca sulle api durata 15 anni afferma di aver trovato la soluzione al mistero.

Secondo lo studio pubblicato su «PLoS Pathogens» è la proteina vitellogenina, presente in tutte le specie ovipare, la responsabile della trasmissione dell'immunità da madre a larva. In particolare le bottinatrici, api che volano di fiore in fiore per procacciare cibo per la colonia, possono venire a contatto con alcuni patogeni che sono poi trasferiti nella pappa reale. Una volta che la pappa reale è stata ingerita dalla regina, alcuni frammenti dei batteri appena digeriti passano nel sangue, dove si legano alla vitellogenina, che finirà nel tuorlo delle uova in via di sviluppo. Le larve nascono quindi vaccinate, e il loro sistema immunitario è già in grado di difendersi da alcune malattie. (MaMa)

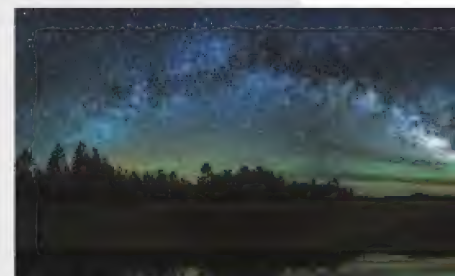
Rinnovabili e riduzione delle emissioni di CO₂

Le installazioni di impianti di energie rinnovabili proseguono – 42 gigawatt di fotovoltaico e 51 di eolico nel solo 2014 – ma quanto servono a ridurre le emissioni di CO₂? Secondo il rapporto della Commissione Europea *Renewable energy in Europe for climate change mitigation*, il loro contributo è fondamentale. Il rapporto stima infatti che nel 2012, senza le rinnovabili, in Europa, avremmo emesso 716 miliardi di tonnellate equivalenti di CO₂ in più (il doppio delle emissioni italiane), rispetto ai 4546 miliardi effettivamente emessi, una riduzione del 13 per cento. Le fonti rinnovabili nel settore elettrico hanno coperto il 64 per cento di questa CO₂ evitata, nella climatizzazione il 31 per cento e nei trasporti il 5 per cento. Quasi due terzi della riduzione sono dovuti agli impianti realizzati in Germania, Svezia, Francia, Italia e Spagna.

Poiché dal 2012 a oggi le installazioni di rinnovabili nella UE sono ulteriormente cresciute, secondo il rapporto è molto probabile che l'Europa centerà la prevista riduzione del 20 per cento delle sue emissioni nel 2020, rispetto al 1990. Tuttavia, se continuerà l'attuale rallentamento nell'aggiunta di rinnovabili, è meno certo che per il 2030 l'UE riesca a raggiungere l'obiettivo di una riduzione del 40 per cento rispetto a quarant'anni prima. (AISA)

Materia ed energia oscure: progressi

Quali particelle compongono la materia oscura? Qual è l'origine dell'energia oscura? Sono tante le ipotesi teoriche e le ricerche sperimentali volte a rispondere a queste domande fondamentali. Gli ultimi studi, in ordine di tempo, sono stati pubblicati ad agosto su «Science»: il primo, dedicato alla materia oscura, condotto dalla XENON Collaboration (diretta da Elena Aprile, della Columbia University), il secondo, sull'energia oscura, condotto da un gruppo guidato da Paul Hamilton, dell'Università della California

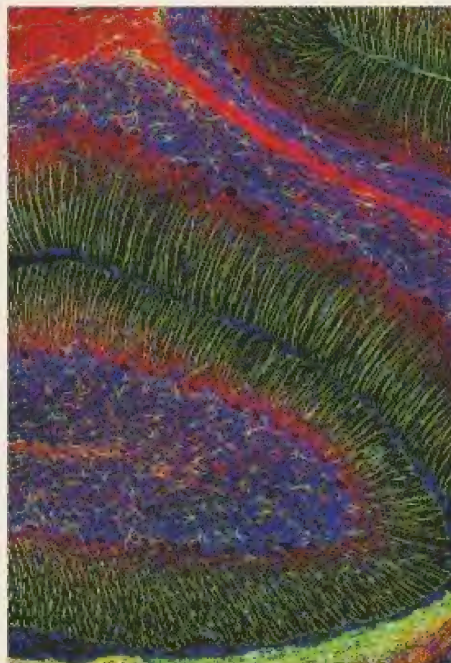


a Berkeley. Il primo articolo, basato sull'esperimento Xenon100, ospitato sotto il Gran Sasso, prova che la materia oscura preferisce interagire con i nuclei atomici anziché con i leptoni, quindi non è «leptofila». La scoperta taglia dunque fuori tutte le teorie che non prevedono interazioni nucleari per la materia oscura. Anche il secondo studio ha sfruttato un apparato di laboratorio per verificare l'esistenza della «particella camaleonte», associata al campo dell'energia oscura e così chiamata perché può modificare le proprie caratteristiche a seconda dell'ambiente. La ricerca non ha individuato la particella, ma ha posto nuovi limiti alle sue eventuali proprietà. (EmRi)

La prima volta della corteccia in laboratorio

Riprodotta per la prima volta in laboratorio la parte più complessa del cervello, la corteccia. Si tratta di un cubetto di corteccia di topo grande circa un milionesimo di millimetro. Troppo piccolo per racchiudere un'intera cellula nervosa, il campione in miniatura contiene frammenti di 1600 neuroni, 1700 sinapsi e sei diverse parti di altri tipi di cellule.

Il risultato, pubblicato su «Cell», è stato ottenuto da un team della Harvard University, coordinato da Jeff Lichtman, ed è il frutto di un complesso lavoro durato sei anni, grazie a simulazioni effettuate con alcuni dei più potenti computer del mondo. Formato da circa 100 miliardi di neuroni – più o meno lo stesso numero delle stelle della Via Lattea – il cervello umano è estremamente complesso. Per riprodurre la corteccia, i ricercatori hanno prelevato una piccola porzione di cervello di topo e, dopo averla congelata, l'hanno sezionata in sottilissime parti, scandendola per ricostruire al computer la grande complessità delle strutture cerebrali. Secondo gli autori, il risultato è un primo importante passo verso una migliore comprensione della corteccia umana. (DaPa)





EVOLUZIONE

LA PIÙ IN↓ADADENTE DI↓TUTTE LE SPECIE

Molte specie umane hanno abitato la Terra,
ma la nostra è l'unica che ha colonizzato l'intero pianeta.
Una nuova ipotesi spiega perché

di Curtis W. Marean

IN BREVE

Di tutte le specie umane che hanno popolato la Terra, solo *Homo sapiens* è riuscito a colonizzare l'intero globo. Da tempo gli scienziati

si chiedono come sia possibile che soltanto la nostra specie sia riuscita a diffondersi in maniera così estesa in tutti gli ambienti del pianeta.

Una nuova ipotesi vede in due innovazioni, uniche di *Homo sapiens*, gli elementi chiave che hanno preparato questa specie per la dominazione mondiale: una

propensione geneticamente determinata alla cooperazione tra individui non imparentati tra loro e lo sviluppo di avanzate armi da lancio.

Curtis W. Marean è professore alla School of Human Evolution and Social Change dell'Arizona State University ed è *associate director* dell'Institute of Human Origin della stessa università. Marean è anche professore onorario della Nelson Mandela Metropolitan University in Sudafrica. È interessato alle origini degli esseri umani moderni e all'occupazione degli ecosistemi costieri. Le sue ricerche sono finanziate dalla National Science Foundation e dalle Hyde Family Foundations.



Un po' meno di 70.000 anni fa la nostra specie, *Homo sapiens*, lasciò l'Africa per iniziare la sua inesorabile espansione in tutto il globo. Altre specie umane si erano già stabilite in Europa e in Asia, ma solo i nostri antenati *H. sapiens* riuscirono a raggiungere tutti i continenti e molte catene insulari. Non fu una comune migrazione. Ovunque, all'arrivo di *H. sapiens* seguivano massicci cambiamenti ecologici. Gli esseri umani più arcaici che incontrava in quei territori si estinsero, e lo stesso avvenne con un grande numero di specie animali. Senza dubbio, fu l'evento migratorio con i più importanti effetti nella storia del nostro pianeta.

Da tempo i paleoantropologi discutono su come e perché solo gli esseri umani moderni abbiano realizzato questa sbalorditiva impresa di diffusione e dominazione. Alcuni ricercatori sostengono che l'evoluzione di un cervello più grande e più sofisticato abbia permesso ai nostri antenati di spingersi verso nuove terre, e di affrontare e vincere le imprevedibili sfide che incontravano. Altri sostengono che una nuova tecnologia abbia guidato l'espansione della nostra specie fuori dall'Africa, permettendo ai primi esseri umani di cacciare prede – e uccidere nemici – con un'efficienza senza precedenti. Un terzo scenario suggerisce che il cambiamento climatico potrebbe aver indebolito le popolazioni dei Neanderthal e delle altre specie umane più antiche che occupavano i territori al di fuori dell'Africa, permettendo agli esseri umani moderni di avere il sopravvento e di prendere possesso dei loro territori. Eppure nessuna di queste ipotesi fornisce una teoria completa che possa spiegare appieno l'estensione raggiunta da *H. sapiens*. In effetti, queste teorie sono state scelte come spiegazione per reperti dell'attività di *H. sapiens* venuti alla luce in alcune particolari regioni, come l'Europa occidentale. Questo approccio frammentario allo studio della colonizzazione di *H. sapiens* ha portato gli scienziati nella direzione sbagliata. La grande diaspora dell'essere umano è stata un unico evento con diverse fasi, e quindi deve essere studiata con un approccio unitario.

Gli scavi che negli ultimi 16 anni ho effettuato a Pinnacle Point sulla costa meridionale del Sudafrica, insieme a progressi della teoria in campi come le scienze sociali e quelle biologiche, di recente mi hanno guidato verso uno scenario alternativo che potrebbe spiegare in che modo *H. sapiens* ha conquistato il globo. Ritengo che la diaspora si sia verificata nel momento in cui un nuovo comportamento sociale si è evoluto nella nostra specie: un'inclinazione geneticamente codificata per la cooperazione con individui non imparentati. L'unione di questa peculiare inclinazione con abilità cognitive avanzate ha permesso ai nostri antenati di adattarsi agilmente ai nuovi ambienti. Inoltre ha favorito l'innovazione, favorendo la nascita di una tecnologia che avrebbe cambiato le regole del gioco: le armi da lancio avanzate. Equipaggiati

in questo modo, i nostri lontani antenati si sono messi in viaggio per lasciare l'Africa, pronti a piegare il mondo intero alla propria volontà.

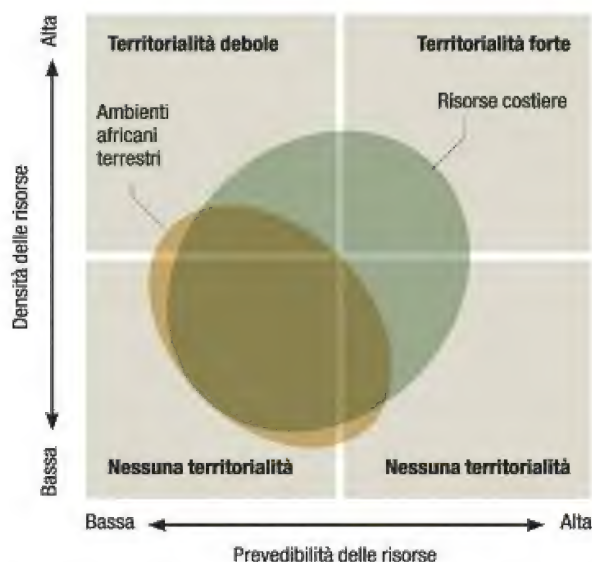
Un desiderio di espansione

Per apprezzare quanto sia stata straordinaria la colonizzazione globale compiuta da *H. sapiens*, dobbiamo tornare indietro di circa 200.000 anni, fino agli albori della nostra specie in Africa. Per decine di migliaia di anni, questi esseri umani anatomicamente moderni – individui che avevano il nostro stesso aspetto – sono rimasti all'interno dei confini della madre Africa. Circa 100.000 anni fa un gruppo di questi esseri umani moderni fece una breve escursione in Medio Oriente, ma a quanto pare non fu in grado di andare oltre. Questi esseri umani avevano bisogno di qualcosa in più, che non avevano. Poi, a partire da 70.000 anni fa, una piccola popolazione di pionieri lasciò l'Africa e diede inizio a una campagna di maggiore successo verso le nuove terre. Con l'espansione in Eurasia, questi esseri umani incontrarono altre specie umane strettamente imparentate: Neanderthal nell'Europa occidentale e denisoviani, membri di una linea evolutiva scoperta di recente, in Asia. Poco dopo l'invasione degli esseri umani moderni, le specie più arcaiche si estinsero, sebbene parte del loro DNA si trovi ancora oggi in noi come risultato della promiscuità interraziale tra i gruppi.

Quando gli esseri umani moderni raggiunsero le spiagge del Sudest asiatico, si trovarono di fronte a quello che poteva sembrare un mare senza limiti e senza terre. Eppure si spinsero ancora più avanti, senza perdersi d'animo. Come noi, queste persone erano in grado di immaginare e desiderare nuove terre da esplorare e conquistare, e per questo costruirono barche in grado di affrontare l'oceano e si misero in viaggio per attraversarlo, raggiungendo le coste dell'Australia circa 45.000 anni fa. Prima specie umana a entrare in questa parte del mondo, *H. sapiens* colonizzò rapidamente il continente, conquistandolo pezzo dopo pezzo con fulminei passi avanti grazie al fuoco e a strumenti per lanciare frecce e lance. Un gran numero degli strani, grandi marsupiali che da

Degne di lotta

Una teoria classica della biologia sostiene che la selezione naturale favorisce la difesa aggressiva delle risorse alimentari (la territorialità) quando i benefici di un accesso esclusivo a quelle risorse hanno un valore maggiore rispetto al costo del loro controllo. Tra gli esseri umani che vivono in piccole società, la territorialità paga quando le risorse sono dense e prevedibili. In Africa, alcune aree costiere hanno risorse alimentari dense e prevedibili sotto forma di banchi di molluschi. È probabile che questo tipo di ambienti abbia innescato la territorialità nei primi gruppi di *Homo sapiens*.



tempo occupavano quelle terre si estinse. Attorno ai 40.000 anni fa, i pionieri trovarono e attraversarono un ponte di terra verso la Tasmania, sebbene le acque senza pietà degli oceani dell'estremo sud negarono loro il passaggio verso l'Antartico.

Dall'altra parte dell'equatore, una popolazione di *H. sapiens* che avanzava verso nord-est penetrò in Siberia e si diffuse in tutte le terre attorno al Polo Nord. Durante quel tentativo, i ghiacci di terra e di mare ostacolarono il loro ingresso nelle Americhe. Il momento preciso in cui quegli esseri umani riuscirono a entrare nel Nuovo Mondo è materia di acceso dibattito, ma i ricercatori concordano che circa 14.000 anni fa superarono queste barriere e si introdussero in un continente la cui fauna selvatica non aveva mai visto un cacciatore umano prima di allora. In poche migliaia di anni raggiunsero il Sud America, lasciandosi alle spalle l'estinzione di massa dei grandi animali dell'era glaciale del Nuovo Mondo, tra cui i mastodonti e i bradipi giganti, che si stavano risvegliando.

Il Madagascar e molte isole del Pacifico rimasero terre vergini per altri 10.000 anni, ma con un ultimo slancio i marinai scoprono e colonizzano anche questi luoghi. Come nel caso degli altri ambienti in cui si era stabilito *H. sapiens*, queste isole soffrono la mano pesante dell'occupazione umana, con interi ecosistemi andati in fiamme, specie sterminate e territori riorganizzati secondo gli obiettivi dei nostri predecessori. La colonizzazione umana dell'Antartico, invece, fu lasciata all'era industriale.

Gioco di squadra

Perciò, come ci è riuscito *H. sapiens*? In che modo, dopo decine di migliaia di anni di confino nel continente d'origine, i nostri predecessori sono riusciti a partire e conquistare non solo le regioni che precedenti specie umane avevano colonizzato, ma il mondo intero? Una teoria che sia efficace nello spiegare questa diaspora deve fare due cose: innanzitutto deve chiarire perché la diaspora è iniziata proprio in quel momento, e non prima. Inoltre deve offrire un meccanismo per la rapida dispersione via terra e via mare, che avrebbe richiesto la capacità di adattarsi rapidamente ai nuovi ambienti e di prendere il posto di qualsiasi umano arcaico che già vi si trovasse. La mia ipotesi è che la comparsa di tratti che ci hanno resi da una parte collaboratori senza pari e dall'altra concorrenti spietati spiega al meglio l'improvvisa ascesa di *H. sapiens* alla dominazione mondiale. Gli esseri umani moderni avevano questa attitudine incontenibile, i Neanderthal e gli altri nostri cugini estinti no. Penso che si tratti dell'ultimo più importante contributo all'insieme di caratteristiche che costituiscono quella che l'antropologo Kim Hill dell'Arizona State University ha chiamato «unicità umana».

Noi esseri umani moderni cooperiamo a un livello straordinario. Ci impegniamo in attività di gruppo complesse e coordinate con persone non legate a noi da vincoli di parentela, addirittura con perfetti sconosciuti. Immaginiamo, in uno scenario suggerito dall'antropologa Sarah Blaffer Hrdy, dell'Università della California a Davis, nel suo libro del 2009 *Mothers and Others*, 200 scimmie che si mettono in fila, salgono su un aeroplano, stanno sedute per ore in maniera passiva e poi escono come robot in fila indiana. Sarebbe impensabile: si aggredirebbero reciprocamente senza sosta. La nostra natura cooperativa funziona sotto entrambi gli aspetti: la specie che si lancia alla difesa di uno sconosciuto in pericolo è la stessa che si allea a individui non imparentati per muovere guerra a un altro gruppo, senza alcuna pietà nella competizione. Come me, molti altri colleghi pensano che questa inclinazione alla collaborazione – quello che io chiamo iperprosocialità – non sia una tendenza acquisita ma, al contrario, un tratto geneticamente codificato che si trova solo in *H. sapiens*. Qualche altro animale ne potrebbe mostrare alcuni barlumi, ma quello che hanno gli esseri umani moderni è di tipo diverso.

La domanda su come siamo arrivati a una predisposizione genetica verso questa peculiare forma di cooperazione estrema non è priva di insidie. I modelli matematici dell'evoluzione sociale, tuttavia, ci offrono qualche spunto di valore. Sam Bowles, economo al Santa Fe Institute, ha dimostrato che una condizione ideale in cui questo tipo di iperprosocialità geneticamente codificata si può diffondere è, paradossalmente, la presenza di gruppi in conflitto. Gruppi che includono un elevato numero di persone prosociali lavorano assieme in maniera più efficace e hanno quindi la meglio sugli altri: in questo modo possono tramandare i propri geni, che codificano questo comportamento alla generazione successiva, determinando la diffusione della iperprosocialità. Il lavoro di Pete Richerson, biologo dell'Università della California a Davis, e di Rob Boyd, antropologo della Arizona State University, suggerisce inoltre che questo tipo di comportamento si diffonde meglio quando inizia in una sottopopolazione e quando la competizione tra i gruppi è intensa, nonché quando le dimensioni generali della popolazioni sono ridotte, come quella originaria di *H. sapiens* in Africa da cui tutti gli esseri umani moderni discendono.

I cacciatori-raccoglitori tendono a vivere in gruppi di circa 25 individui, a sposarsi al di fuori del gruppo e a raccogliersi in «tri-

bù» tenute assieme dallo scambio dei partner, dai doni e da un linguaggio e tradizioni comuni. Talvolta ingaggiano combattimenti con altre tribù, ma così facendo si assumono un grosso rischio e questo porta a domandarsi che cosa inneschi questa volontà di intraprendere un combattimento rischioso.

Alcune indicazioni su quando convenga combattere arrivano dalla teoria classica della «difendibilità economica», avanzata nel 1964 da Jerram Brown, ora all'Università di Albany, per spiegare la variazione dell'aggressività tra gli uccelli. Brown ha proposto che gli individui agiscono in maniera aggressiva per raggiungere determinati obiettivi che massimizzano le loro possibilità di sopravvivenza e riproduzione, e la selezione naturale favorirà il combattimento quando facilita questi obiettivi. Uno degli obiettivi principali di tutti gli organismi è assicurarsi una fonte di cibo: se il cibo può essere difeso, ne consegue che il comportamento aggressivo per la sua difesa dovrebbe essere selezionato. Se il cibo non può essere difeso o se è troppo oneroso da controllare, un comportamento aggressivo è controproducente.

In un articolo del 1978, ormai divenuto un classico, Rada Dyson-Hudson ed Eric Alden Smith, entrambi allora alla Cornell University, hanno applicato la teoria della difendibilità economica agli esseri umani che vivevano in piccole società. Il loro lavoro mostra che la difesa delle risorse ha senso quando sono dense e prevedibili e, vorrei aggiungere, quando le risorse in questione sono fondamentali per l'organismo, dato che nessun organismo difenderebbe una risorsa di cui non ha bisogno. Questo principio è valido anche oggi: i gruppi etnici e gli Stati nazionali combattono ferocemente per l'accesso a risorse dense, prevedibili e di valore, come petrolio, acqua e terra fertile e produttiva. Un'implicazione di questa teoria territoriale è che gli ambienti che avrebbero promosso il conflitto intergruppo, e quindi i comportamenti cooperativi che avrebbero permesso questo tipo di conflitto, non erano universali nel primo mondo di *H. sapiens*, ma si limitavano a quei territori in cui erano disponibili risorse di alta qualità in maniera densa e prevedibile.

In Africa, le risorse terrestri sono per la maggior parte diffuse e imprevedibili, caratteristica che spiega perché la maggior parte dei cacciatori-raccoglitori studiati investano pochissimo tempo ed energie nella difesa dei confini. Eppure ci sono eccezioni alla regola. Alcune aree costiere hanno risorse alimentari molto ricche, dense e prevedibili sotto forma di banchi di molluschi. Le testimonianze etnografiche e archeologiche delle imprese belliche dei cacciatori-raccoglitori in tutto il mondo mostrano che i livelli più elevati di conflitto sono stati registrati in gruppi che sfruttavano le risorse della costa, come quelle delle zone costiere del Pacifico del Nord America.

In quale momento gli esseri umani hanno adottato risorse dense e prevedibili come pilastro della propria dieta? Per milioni di anni i nostri antenati sono andati alla ricerca di piante e animali terrestri, nonché, all'occasione, di qualche alimento acquatico dell'entroterra. Tutte queste risorse alimentari si presentano a basse densità, e la maggior parte sono imprevedibili. Per questo motivo i nostri antenati vivevano in gruppi fortemente distribuiti e costantemente in viaggio alla ricerca del pasto successivo. Tuttavia, con il continuo aumento della complessità cognitiva umana una popolazione riuscì a capire come sopravvivere sulla costa nutrendosi di molluschi. Gli scavi effettuati dal mio gruppo pres-

so i siti di Pinnacle Point indicano che questo cambiamento iniziò 160.000 anni fa sulle coste meridionali del continente africano. Là, per la prima volta nella storia dell'umanità, la nostra specie iniziò a sfruttare una risorsa densa, prevedibile e di grande valore, e questo sviluppo avrebbe portato a un cambiamento sociale importante.

I dati genetici e archeologici indicano che la popolazione di *H. sapiens* subì un declino poco dopo la sua origine, a causa di una fase di raffreddamento globale che si protrasse tra i 195.000 e i 125.000 anni fa. Durante le rigide fasi glaciali, che resero difficile trovare piante commestibili e animali negli ecosistemi dell'entroterra, gli ambienti vicino alle coste offrirono un rifugio alimentare per *H. sapiens*, e furono quindi cruciali per la sopravvivenza della nostra specie. Queste risorse marine furono anche motivo di guerra. Alcuni recenti esperimenti effettuati sulla costa meridionale africana da Jan De Vynck della Nelson Mandela Metropolitan University, in Sudafrica, hanno mostrato che i banchi di molluschi possono essere assai remunerativi, garantendo fino a 4500 calorie per ora di raccolto. La mia ipotesi, in pratica, è che gli alimenti costieri rappresentassero una risorsa di cibo densa, prevedibile e di valore. In quanto tale, avrebbe portato all'aumento del livello di territorialità tra gli esseri umani, che a sua volta avrebbe determinato il conflitto intergruppo, e i costanti combattimenti tra i gruppi avrebbero garantito le condizioni adatte per la selezione dei comportamenti prosociali all'interno degli stessi – ovve-

ro la necessità di collaborare per difendere i banchi di molluschi e mantenere un accesso esclusivo a questa preziosa risorsa – che di conseguenza si sarebbero diffusi nella popolazione.

Dall'unione tra armi da lancio e comportamento iperprosociale nacque una nuova e spettacolare creatura

Arma da guerra

Grazie alla capacità di operare in gruppi di individui non imparentati, *H. sapiens* era sulla buona strada per diventare una forza inarrestabile. Secondo la mia ipotesi, tuttavia, aveva bisogno di una nuova tecnologia – le armi da lancio – per raggiungere il pieno potenziale per la conquista: un'invenzione già da tempo in divenire. Le tecnologie hanno carattere additivo, trovano le loro fondamenta nelle conoscenze e negli esperimenti pregressi e aumentano di complessità. Lo sviluppo delle armi da lancio doveva seguire la stessa traiettoria: è probabile che siano state sviluppate a partire dai pugnali (*stabbing stick*), per passare dalle lance a mano alle lance con lancio assistito (con propulsori) agli archi con le frecce, per arrivare ai metodi più selvaggiamente creativi che gli esseri umani contemporanei hanno ideato per scagliare oggetti mortali.

A ogni nuova iterazione, la tecnologia è diventata più letale. Una semplice lancia di legno con punta acuminata tende a produrre una ferita da penetrazione, ma questo tipo di lesione ha un impatto limitato perché non permette che l'animale dissanguini rapidamente. Aggiungere una pietra acuminata alla punta della lancia aumenta il trauma della ferita. Questa elaborazione, tuttavia, richiede diverse tecnologie interconnesse: è necessario saper forgiare uno strumento a forma di punta che possa penetrare l'animale e modellare la punta alla base in modo che possa essere unita a una lancia. Richiede inoltre qualche tipo di tecnologia di connessione che assicuri la punta di pietra al corpo dell'asta, colla o un materiale per legare, talvolta entrambi. Jayne Wilkins, ora all'Università di Cape Town, in Sudafrica, insieme ai colleghi ha



Le piccole lame di pietra o microliti (*in alto*), scoperte a Pinnacle Point, in Sudafrica, mostrano che gli esseri umani inventarono le armi proiettili 71.000 anni fa. Montando i microliti su aste di legno, producevano frecce o dardi come quelli ricostruiti qui (*sopra*).

dimostrato che gli strumenti di pietra provenienti da un sito in Sudafrica chiamato Kathu Pan 1 erano usati come punte da lancia circa 500.000 anni fa.

L'antichità delle scoperte di Kathu Pan 1 implica che si tratti dell'opera degli ultimi antenati comuni a Neanderthal ed esseri umani moderni, e resti di 200.000 anni fa mostrano che, come ci si potrebbe aspettare, entrambe le specie discendenti di quegli antenati costruivano anche questo tipo di strumenti. Questa tecnologia condivisa significa che, per un certo periodo, ci fu equilibrio tra Neanderthal e primi *H. sapiens*. La situazione però stava per cambiare.

Gli esperti concordano sul fatto che la comparsa di strumenti litici miniaturizzati tra i reperti archeologici indica l'avvento di una vera tecnologia da lancio, per la quale leggerezza e balistica sono caratteristiche cruciali. Questi strumenti sono troppo piccoli

per essere branditi con le mani: al contrario, devono essere montati in una fessura scavata nell'osso o nel legno, al fine di ottenere armi che possono essere proiettate ad alta velocità e a lunga distanza. L'esempio più antico che si conosca di questo tipo di tecnologia microlitica giunge proprio da Pinnacle Point. Qui, in un rifugio di roccia chiamato semplicemente PP5-6, il mio gruppo ha trovato ricche testimonianze di occupazioni umane. Grazie a una tecnica di datazione basata sulla luminescenza stimolata otticamente, il geocronologo Zenobia Jacobs, dell'Università di Wollongong, in Australia, ha determinato che la sequenza archeologica in PP5-6 copre l'intervallo temporale che va da 90.000 a 50.000 anni fa. Il più antico strumento microlitico del sito si aggira attorno a 71.000 anni fa.

Queste datazioni suggeriscono che il cambiamento climatico potrebbe aver accelerato l'invenzione di questa nuova tecnologia. Prima di 71.000 anni fa gli abitanti di PP5-6 costruivano grosse punte e lame in pietra usando un tipo di roccia chiamata quarzite. A quell'epoca, come ha dimostrato Erich Fisher, dell'Arizona State University, la linea costiera era vicina a Pinnacle Point. Le ricostruzioni del clima e dell'ambiente a opera di Mira Bar-Matthews della Geological Survey of Israel e di Kerstin Braun, ora ricercatrice post-dottorato alla Arizona State University, indicano che le condizioni erano simili a quelle che prevalgono oggi nell'area, con forti precipitazioni invernali e bassa vegetazione. Ma attorno a 74.000 anni fa il clima mondiale iniziò a mutare verso condizioni glaciali. Il livello dei mari si abbassò, esponendo il litorale; le precipitazioni estive aumentarono, determinando la diffusione di erbe assai nutritive e di boschi dominati da alberi di acacia. Pensiamo che un grande ecosistema a migrazione, in cui gli animali al pascolo viaggiavano a est in estate e a ovest in inverno, seguendo le piogge e quindi l'erba fresca, si sviluppò sulla costa precedentemente sommersa.

Ancora non è chiaro con esattezza perché gli abitanti di PP5-6 iniziarono a forgiare quelle piccole e leggere munizioni dopo il cambiamento climatico. È possibile comunque che quelle munizioni siano state forgiate per abbattere gli animali che attraversavano le nuove pianure durante le migrazioni. Qualunque sia stata la ragione, gli autoctoni svilupparono un mezzo ingegnoso per realizzare quei piccolissimi strumenti: optarono per un nuovo materiale grezzo – una roccia chiamata silcrete – che riscaldavano con il fuoco, rendendolo in questo modo più facilmente lavorabile in piccole punte aguzze. Solo grazie al cambiamento del clima fu possibile per questi primi esseri umani moderni avere accesso a una fonte sufficientemente stabile di legna da ardere, ottenuta dalle acacie sempre più diffuse, che rese la manifattura di questi strumenti microlitici a trattamento termico una tradizione continua.

Non sappiamo per quale tipo di tecnologia da lancio fossero usati questi microliti. La mia collega Marlize Lombard dell'Università di Johannesburg ha studiato alcuni più recenti esempi provenienti da altri siti, concludendo che rappresentano l'origine dell'arco e della freccia, dato che il profilo dei danni che si osserva su di loro somiglia a quello che si vede sulle punte delle frecce. Personalmente non sono del tutto convinto, per il fatto che lo studio di Lombard non ha considerato il danno prodotto dai propulsori. Che sia comparso prima a Pinnacle Point o da un'altra parte, sono convinto che propulsore, più semplice, abbia preceduto arco e freccia, più complessi.

Sospetto anche che come i recenti cacciatori-raccoglitori africani, le cui vite sono state documentate nelle testimonianze etno-

L'invasore finale

Homo sapiens non ha semplicemente seguito le orme dei suoi predecessori. Ha invece aperto vie attraverso nuove terre, trasformando gli ecosistemi dovunque è arrivato.

Dopo il debutto del nostro genere, *Homo*, in Africa (*in viola*), alcuni dei primi antenati umani hanno iniziato a disperdersi dalle terre d'origine a partire da 2 milioni di anni fa circa. Si sono spinti in varie regioni dell'Eurasia e infine si sono evoluti in *Homo erectus*, Neanderthal e denisoviani (*in verde*). Circa 200.000 anni fa è evoluto *H. sapiens* anatomicamente moderno. Quando le condizioni climatiche si sono deteriorate, circa 160.000 anni fa, rendendo inabitabile buona parte dell'Africa interna, alcuni membri di questa specie hanno cercato rifugio sulla costa meridionale e hanno imparato a sfruttare per la propria alimentazione i ricchi banchi di molluschi presenti in quell'area.

L'autore propone che questo cambiamento nello stile di vita abbia determinato l'evoluzione di una propensione geneticamente codificata per la cooperazione con individui non imparentati, quanto meno per difendere i banchi di molluschi contro gli intrusi. Collaborativi e socialmente connessi in maniera del tutto singolare, i nostri antenati sono diventati ancora più creativi. Il loro sviluppo delle armi da lancio è stato un'innovazione senza precedenti.

Con la comparsa di questi due tratti – cooperazione estrema e proiettili avanzati – *H. sapiens* era pronto per lasciare l'Africa e conquistare il mondo (*frece rosse*). Questa specie si è diffusa oltre Europa e Asia, in continenti e catene insulari che non avevano mai ospitato esseri umani di alcun tipo (*marrone chiaro*).



Gli effetti

Importanti cambiamenti ecologici hanno accompagnato la diffusione della nostra specie. In Europa e in Asia, l'arrivo degli esseri umani moderni ha condannato all'estinzione le specie umane arcaiche già residenti; quando sono entrati in territori che non avevano mai ospitato umani di alcun tipo, questi nostri antenati hanno cacciato molti grandi animali, la cosiddetta megafauna, fino a determinarne l'estinzione (probabilmente la megafauna dell'Eurasia è riuscita a sopravvivere meglio all'arrivo di *H. sapiens* perché la presenza in quei luoghi di umani più arcaici aveva prodotto un equilibrio tra predatore e preda).

Fonte: *Global Late Quaternary Megafauna Extinctions Linked to Human, not Climate Change* di C. Sandon e altri, in «Proceeding of the Royal Society B», Vol. 281, n. 1787, 22 luglio 2014 (raggio d'azione degli ominini e mappa estinzione megafauna)

grafiche, i primi *H. sapiens* abbiano scoperto l'efficacia del veleno e l'abbiano usata per aumentare la letalità dei loro proiettili. Gli atti conclusivi di una battuta di caccia con la lancia sono un vero caos: cuori martellanti, polmoni ansanti, polvere e sangue, e puzza di sudore e di urina. I pericoli abbondano. L'animale, a terra, inginocchiato dalla fatica e dalla perdita di sangue, ha ancora un'ultima mossa: l'istinto urla alla bestia di alzarsi e, barcollando un'ultima volta, avvicinarsi al cacciatore e infilargli le corna nelle budella.

Le brevi vite e i corpi distrutti dei Neanderthal indicano che questi esseri umani hanno sofferto le conseguenze delle battute di caccia effettuate a breve distanza dai grandi animali e con armi da impugnare. Consideriamo ora il vantaggio di un proiettile lanciato da lontano e intriso di veleno che paralizza l'animale, permettendo al cacciatore di avvicinarsi e porre fine all'inseguimento con una minaccia minima. Quest'arma fu un'innovazione senza precedenti.



PER APPROFONDIRE

An Early and Enduring Advanced Technology Originating 71,000 Years Ago in South Africa. Brown K.S. e altri, in «Nature», Vol. 491, pp. 590-593, 22 novembre 2012.

The Origins and Significance of Coastal Resource Use in Africa and Western Eurasia. Marean C.W., in «Journal of Human Evolution», Vol. 77, pp. 17-40, dicembre 2014.

Quando il mare salvò l'umanità. Marean C.W., in «Le Scienze» n. 506, ottobre 2010.

Una forza della natura

Dall'unione tra armi da lancio e comportamento iperprosociale nacque una nuova e spettacolare creatura, i cui membri formavano squadre che operavano come un solo, indomito predatore. Nessuna preda o nemico umano era al sicuro. Grazie a questa potente combinazione di tratti, sei uomini che parlano sei lingue diverse possono remare all'unisono, cavalcare onde di dieci metri per portare un arpioniere ad alzarsi sulla prua all'ordine del capo e lanciare un letale bastone di ferro nel pesante corpo di un leviatano, un animale che dovrebbe vedere gli esseri umani come niente più che moscerini. Allo stesso modo, una tribù di 500 persone disperse in 20 gruppi collegati tra loro può organizzare un piccolo esercito per castigare una tribù vicina che abbia sconfinato.

L'emergere di questo strano miscuglio di assassini e collaboratori potrebbe spiegare perché, tra 74.000 e 60.000 anni fa, quando tornarono le condizioni glaciali che resero ancora una volta inospitali vaste aree dell'Africa, le popolazioni di esseri umani moderni non si contrassero come era avvenuto in precedenza. Invece si espansero in Sudafrica, prosperando grazie un'ampia diversità di strumenti avanzati. La differenza fu che questa volta gli esseri umani avevano collegamenti sociali flessibili e una tecnologia in grado di rispondere a qualsiasi crisi ambientale. Divennero i predatori alfa sulla terraferma e alla fine anche nel mare. Questa capacità di controllare qualsiasi ambiente fu la chiave che aprì le porte dell'Africa e permise di raggiungere il resto del mondo.

Gruppi di umani arcaici che non erano in grado né di coalizzarsi né di sfruttare le armi da lancio non avevano alcuna possibilità contro questi umani. Da tempo gli scienziati dibattono sull'estinzione dei nostri cugini Neanderthal. Penso che la spiegazione più inquietante sia la più probabile: i Neanderthal erano visti come concorrenti e come una minaccia, e gli esseri umani moderni, gli invasori, li sterminarono. Era quello per cui si erano evoluti.

A volte penso a come sarebbe potuto avvenire quel fatale incontro tra esseri umani moderni e Neanderthal. Immagino i racconti che i Neanderthal potevano fare attorno al fuoco del campo, narrando di titaniche battaglie contro enormi orsi delle caverne e mammut, combattute sotto i cieli plumbei di un'Europa glaciale, a piedi nudi sul ghiaccio scivoloso del sangue dell'animale e di quello dei fratelli. E poi, un giorno, la tradizione prese una brutta piega; i racconti divennero spaventosi. I Neanderthal parlavano ora di nuove genti arrivate in quei territori, esseri veloci e intelligenti che lanciavano lance a distanze impossibili, con agghiacciante accuratezza. Questi stranieri arrivavano anche di notte, massacrando uomini e bambini e prendendo con sé le donne.

La triste storia di queste prime vittime dell'ingegno e della cooperazione degli umani moderni, i Neanderthal, ci aiuta a spiegare perché orribili atti di genocidio e xenocidio si riaffacciano nel mondo. Quando risorse e terre diventano scarse, decidiamo che chi non ci somiglia o non parla come noi è «l'altro», e usiamo queste differenze per giustificare lo sterminio o la loro espulsione per eliminare la competizione. La scienza ha messo in luce lo stimolo che innesca la nostra propensione innata a classificare le persone come «altri» e a trattarli in maniera raccapricciante. Solo perché *H. sapiens* si è evoluto per reagire alla scarsità di risorse in questo modo impietoso non significa che anche noi siamo condannati a questa risposta. La cultura è in grado di sovrascrivere anche gli istinti biologici più forti. Spero che riconoscere il perché in tempi di magra ci rivoltiamo istintivamente l'uno contro l'altro permetterà di ribellarci contro i nostri impulsi più negativi e ascoltare una delle nostre più importanti direttive culturali: «Mai più».

CLIMA

CAMBIO

Alla ricerca dell'acqua perduta della California

di Dan Baum



Nel 1860 il naturalista William Brewer iniziò la prima indagine geologica del neonato Stato della California. Il 2 dicembre raggiunse Los Angeles, un villaggio di case di mattoni, e annotò sul suo diario che «l'unica cosa che servirebbe per renderlo un paradiso naturale è acqua, più acqua».

Tre settimane più tardi un violento nubifragio distrusse numerose abitazioni. Così è il tempo atmosferico in California.

Le antiche testimonianze incise negli anelli di accrescimento degli alberi mostrano andamenti simili a quelli di oggi: lunghi periodi di siccità punteggiati da pochi anni piovosi. Nel 1130 le precipitazioni si ridussero moltissimo, e ripresero davvero solo qua-

rant'anni dopo. Nel corso della storia della California, gli alberi hanno registrato fasi di siccità durate vari decenni.

Ma la semplice mancanza di pioggia registrata negli anelli degli alberi non è più una definizione utile di siccità. Di maggiore praticità è una descrizione più soggettiva: la differenza tra l'umidità presente e quella necessaria. In base a questo standard, l'attuale siccità non ha precedenti. Oggi la California ha raggiunto il picco massimo di siccità dal 1895, quando si iniziò a tenere traccia del tempo atmosferico. E fa anche innaturalmente caldo: nel 2014 si è registrato mezzo grado in più rispetto al precedente anno più caldo, e il 2015 sta diventando ancora più torrido, aumentando spietatamente la necessità di acqua del suolo proprio nel momento in cui la disponibilità è minima. Inoltre, ciò che oggi gli esseri uma-

Justin Sullivan/Getty Images (tutte le fotografie)

DI

STATO

Dopo tre anni della peggiore siccità mai registrata in California, la capacità del lago Oroville – fotografato nel luglio 2011 (*a fronte*) e nell'agosto 2014 (*sotto*) – si è ridotta del 32 per cento.



ni chiedono ai suoi non ha paragoni nel passato. Gli abitanti della California sono circa 40 milioni, e il resto del paese, e una parte del mondo, dipendono dal cibo che cresce qui.

I californiani hanno già sopportato molte siccità: 1977, 1986-1991, 2001-2002, 2006-2007, e l'attuale, iniziata nel 2011. Può darsi che la prossima generazione di dendrocronologi non veda questi eventi come elementi separati, ma come l'inizio di una di quelle grandi siccità di tipo medievale (anche quelle ebbero qualche anno piovoso, qua e là). Se l'affollato calderone della California sta effettivamente imboccando una strada che porterà a decenni di basse precipitazioni in un'era di caldo senza precedenti, il Golden State potrebbe trasformarsi completamente. Nell'ipotesi peggiore, potrebbe perdere la sua rigogliosa agricoltura e le sue

imponenti foreste. In quella migliore, i suoi abitanti potrebbero mettere in atto la capacità di innovazione per cui sono famosi e fare della California il banco di prova mondiale per la conservazione e il riuso dell'acqua. In entrambi i casi, un doloroso adattamento alla nuova normalità è già in atto.

Per capire la siccità della California bisogna seguire l'acqua. Si tratta di un viaggio pieno di sorprese, a partire dal fatto inizia a circa 9600 chilometri di distanza, tra i verdeggianti arcipelaghi del Pacifico occidentale di Fiji, Vanuatu e Solomon.

In genere il sole riscalda il Pacifico lungo tutto l'equatore, e i venti di superficie prevalenti, che soffiano da est a ovest, spingono l'acqua più calda nel mare ricco di isole a ovest della linea internazionale del cambio di data. L'acqua si accumula, letteralmen-

Dan Baum è giornalista e saggista. Già redattore del «New Yorker», ha firmato inchieste in cinque continenti.



te, in un grande «ammasso», che oltre a essere più caldo di qualche grado dell'oceano al largo delle coste del Sud America, ma è anche più alto di circa un metro. Tutto questo calore alimenta le tempeste che sollevano l'umidità nell'atmosfera, dove la corrente a getto – venti ad alta quota che soffiano verso est – la raccolgono e la trasportano in Nord America.

Se l'ammasso equatoriale di acqua calda rimane all'incirca a ovest rispetto alla linea del cambio di data, abbiamo La Niña, che è associata a siccità nelle zone sud occidentali degli Stati Uniti. Se i venti equatoriali sulla superficie dell'oceano si indeboliscono o invertono la rotta, facendo scivolare l'ammasso a est della linea del cambio di data – e se l'effetto è sufficientemente pronunciato – abbiamo El Niño, che porta ulteriori piogge a ovest. Ciò che si sta verificando ora non assomiglia realmente né a El Niño né a La Niña. Negli ultimi inverni, quel punto a ovest della linea del cambio di data è stato di mezzo grado in più rispetto alla media degli ultimi trent'anni, un dato significativo in termini climatici. Inoltre nell'inverno 2013-2014 ci sono stati circa 30 centimetri di pioggia in più, e un ciclone di categoria 5, che ha sollevato un'enorme quantità di calore da un oceano insolitamente caldo all'atmosfera più alta. All'inizio del 2015 altri due enormi cicloni in questa regione hanno fatto lo stesso.

Gli scienziati sono restii stabilire rapporti di causalità esatti in un cambiamento climatico, ma sembra che in quella massa di acqua calda del Pacifico occidentale ci sia qualcosa – forse associato alla minore differenza di temperature tra equatore e poli – che sta inceppando i meccanismi meteorologici. Una «cresta» di alta pressione si è fermata sul Pacifico orientale proprio lungo il percorso dell'umida corrente a getto e, come un masso in mezzo a un torrente, sta facendo deviare il flusso spingendo la corrente verso nord. Quella che avrebbe dovuto essere pioggia californiana è caduta in enormi quantità sull'Alaska e sul Canada nord occidentale, e potrebbe aver contribuito alle storiche nevicate dello scorso inverno, da Chicago a Boston, e alle inondazioni nel Regno Unito.

Queste creste di alta pressione che bloccano la corrente a getto sono comuni al largo delle coste della California ma in genere si disperdono in poche settimane sotto l'azione delle tempeste. Quella odierna, al contrario, persiste dall'inverno 2013-2014, diminuendo un po' di tanto in tanto per poi misteriosamente ricostituirsi e respingere l'umidità in arrivo. Daniel Swain, dottorando della Stanford University, ha dato all'anomalia un nome che non si dimentica: *Ridiculously Resilient Ridge* (Cresta Incredibilmente Resiliente), o Tripla R. Lo scorso inverno la Tripla R è stata sfondata da numerose piccole tempeste, tra cui un eccezionale nubifragio a febbraio, ma invece di disperdersi si è inspiegabilmente riformata. Quanto durerà, nessuno sa dirlo.

La maggior parte dell'acqua trasportata dal Pacifico occidentale tocca il terreno per la prima volta ad alta quota, sulle montagne della Sierra Nevada, che si sviluppano per 640 chilometri lungo il confine orientale dell'omonimo Stato. Ho iniziato lì il mio viaggio alla ricerca dell'acqua perduta, precisamente al Lago Echo, a monte del Lago Tahoe. Durante gli anni piovosi, l'acqua è trasportata qui dalle correnti a getto, e cade in quantità titaniche. Quest'anno, invece, sul Lago Echo non è caduta quasi alcuna neve. A riparo della Tripla R, l'inverno 2013-2014 ha visto lo spessore nevoso più basso nella storia della Sierra Nevada, e l'ultimo inverno ha battuto il record, con solo il 5 per cento di precipitazioni medie. In aprile di solito i cumuli di neve sulle rive del Lago Echo sono alti quanto un uomo, ma quando sono arrivati – il 16 aprile di quest'anno – c'era solo qualche fazzoletto bianco ammucchiato sotto gli alberi.

Dal Lago Echo ho guidato per 320 chilometri verso sud attraverso il Parco nazionale di Yosemite per raggiungere Nathan Stephenson, ecologo vegetale dello U.S. Geological Survey (USGS) che lavora all'ombra dei giganteschi alberi del Sequoia National Park, in California. Le sequoie si stagliano sopra la contea di Tulare, nella Central Valley, il *ground zero* della siccità. Il fiume Kaweah esce dal parco, scendendo fino allo sfruttatissimo Lago Kaweah, per poi proseguire verso la valle. Nei 35 anni trascorsi nel Parco, Stephenson ha visto diverse siccità, ma nessuna come questa. «A occhio direi che un terzo delle querce sui pendii delle montagne è morto, o sta morendo», mi ha detto. Stephenson è alto e dinoccolato, con una barba grigia e l'atteggiamento solare di un uomo pagato per starsene tutto il giorno in un parco nazionale. Ma mentre osservava le colline da sotto la tesa del suo cappellino dello USGS era cupo: «E siamo solo ad aprile!», ha esclamato.

Sequoie a rischio

A bordo della sua auto abbiamo guidato sul monte fino a un bosco di cedri della California (*Calocedrus decurrens*) punteggiato da esemplari di un sorprendente bruno dorato. «Hanno centinaia di anni e sono molto resistenti. Ci vivono alcuni insetti», mi spiega Stephenson. «Li abbiamo soprannominati scherzosamente "gli immortali", perché sembrano non morire mai». Si è fermato e ha allungato una mano per tastare gli aghi marroni di un cedro. «Immagino che adesso siano mortali». Infine siamo saliti fino al regno delle sequoie, molte delle quali si ergevano in mezzo a mucchi dei loro stessi aghi caduti, a testimonianza di come la siccità le stia attaccando dalle estremità.

Sono 33 anni che lo USGS tiene sotto controllo 20.000 alberi di vario tipo cresciuti in 30 vasti appezzamenti. Questi alberi, tra cui le sequoie, stanno morendo in maniera prevedibile e impre-

IN BREVE

La siccità in California non ha precedenti. Lo studio degli anelli di accrescimento degli alberi mostra che anche in passato lo Stato ha vissuto lunghi periodi siccitosi, ma mai in un momento come quello attuale, in cui la pressione umana

sui suoli è altissima. **Lo Stato sta cambiando.** Sulla Sierra Nevada le foreste si stanno modificando: i grandi alberi secolari muoiono, sostituiti da nuove specie più piccole. Anche le grandi sequoie sono a rischio.

La falda acquifera della Central Valley sta letteralmente collassando in conseguenza del mancato controllo sullo sfruttamento dell'acqua sotterranea. Gli agricoltori lasciano i campi incolti, boschi e frutteti prendono fuoco e le riserve

d'acqua si esauriscono. **Lo Stato della California** potrebbe diventare un'altra Arizona. Ma c'è una speranza: il pensiero creativo è già iniziato, e molti vedono la siccità come un'opportunità per salvare il paese e al tempo stesso arricchirsi.

Agricoltori della città di Firebaugh, nella Central Valley, nei loro campi (*in alto a sinistra*); nelle vicinanze, i mandorli avvizziscono (*in alto a destra*) e i cartelli illustrano la protesta contro il taglio dell'acqua assegnata ai coltivatori (*in basso a destra*). A Portville, centinaia di abitazioni sono rimaste senza acqua (*in basso a sinistra*).



dibile. In condizioni normali un filo ininterrotto di acqua si estende dalle radici di un albero fino a ciascuna foglia o ago, spinto verso l'alto attraverso minuscoli capillari, mano a mano che l'albero lascia traspirare l'acqua nell'atmosfera. Ora, invece, alberi di ogni tipo stanno morendo per cavitazione: il percorso d'acqua si interrompe, bolle d'aria entrano nei capillari e questo è quanto. Durante i periodi aridi, altri alberi chiudono i pori delle foglie per trattenere l'acqua, ma in questo modo non possono liberarsi dell'anidride carbonica. In genere l'umidità ritorna e i pori riaprono prima che gli alberi muoiano asfissati, ma questa siccità è stata così lunga, arida e calda, che per molti alberi il dilemma fatale è trattenere l'acqua o respirare. E poi ci sono i coleotteri, attratti dagli alberi provati dalla siccità, che stanno devastando enormi pinete in tutto la parte occidentale degli Stati Uniti.

Quest'ultima primavera un'indagine aerea su un'ampia porzione delle foreste della Sierra Nevada californiana, tra cui il Sequoia Park, ha identificato più di 10 milioni di alberi morti – il 10 per cento degli alberi dell'area studiata – la maggior parte dei quali deceduti l'anno prima. Se continuerà a lungo, la siccità potrebbe far deperire le maestose foreste in quota della California e distruggere le sequoie giganti, compreso il Generale Sherman, che con i suoi 83,8 metri di altezza e 36,5 metri di diametro alla base è la più grande sequoia al mondo per volume.

Una moria massiccia sarebbe una perdita enorme per la California, ma rappresenterebbe un evento gravissimo per tutto il pianeta, e non solo per l'enorme quantità di tonnellate di anidride carbonica rilasciata in un'atmosfera già in surriscaldamento. L'anno scorso Stephenson ha guidato un ampio studio su 673.046 al-

beri di 403 specie in sei continenti che ha lasciato di stucco la comunità botanica, rivelando che, contrariamente a ciò che si pensava, gli alberi crescono più velocemente con l'aumentare dell'età e delle dimensioni. Se la foresta della Sierra Nevada continua a morire, sarà sostituita da una foresta molto più giovane, in grado di assorbire dall'atmosfera una quantità minore dell'anidride carbonica che contribuisce al riscaldamento globale.

Sempre più in fondo

Durante le annate umide, la neve che si accumula sulla Sierra Nevada contiene abbastanza acqua da riempire i bacini idrici californiani. Ogni primavera e ogni estate gocciola lungo le pendici occidentali e si fa strada verso la prossima tappa del nostro viaggio alla ricerca dell'acqua perduta della California – una gigantesca caratteristica di questo affollatissimo Stato che si nasconde in piena vista, vale a dire il delta del fiume Sacramento-San Joaquin.

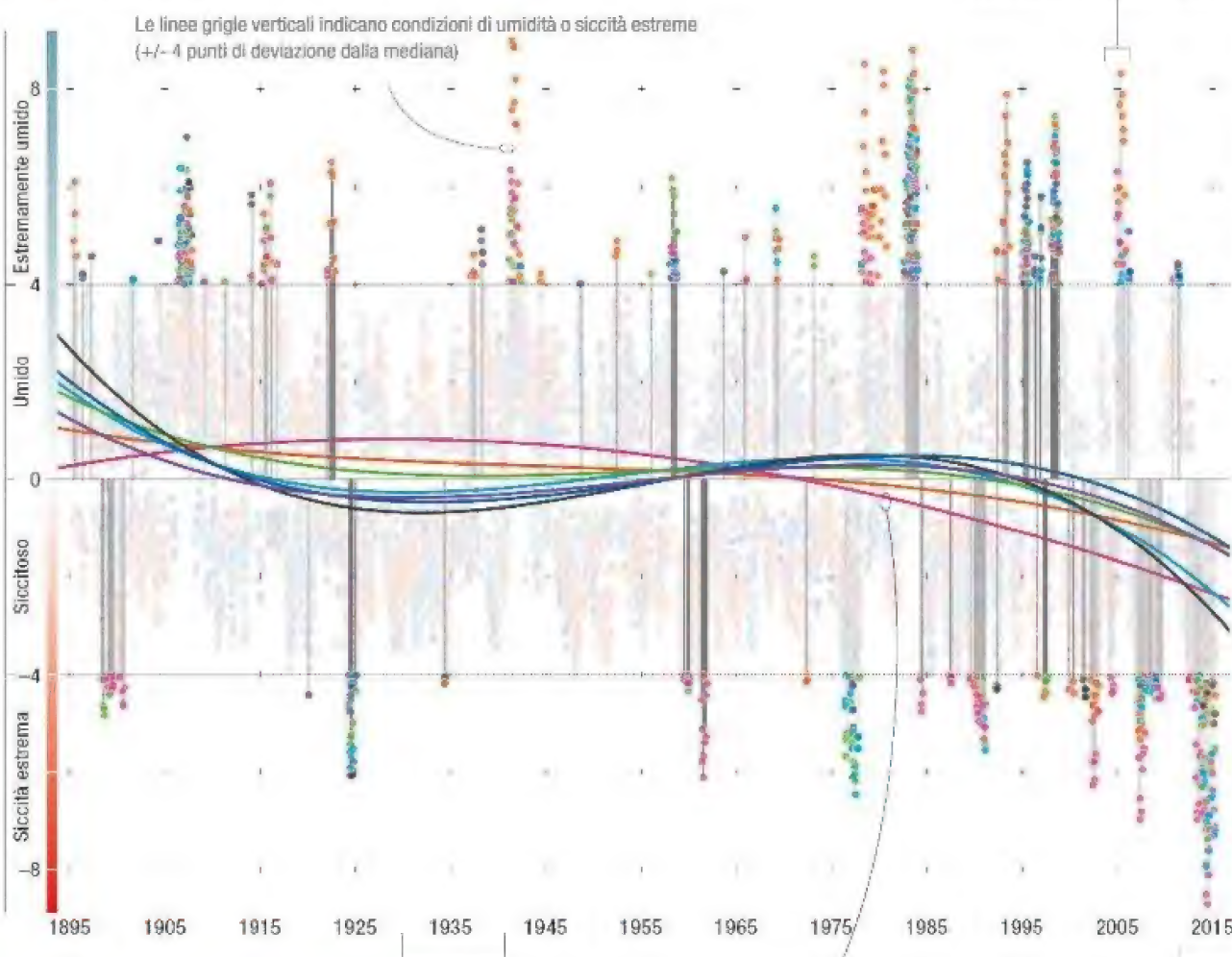
Il delta si trova subito a est della baia di San Francisco. Prima dell'arrivo dei coloni era una palude di acqua dolce attraversata da canali di acqua stagnante e punteggiata da isolette, ma ora è la maggior parte della sua superficie è coltivata e oltre mezzo milione di persone vivono in città come Antioch e Rio Vista. Per ampi tratti, tuttavia, rimane una pianura alluvionale non sviluppata – un piatto intrico di piante, inquietante e selvaggio che gran parte della gente non vede mai – attraverso cui si dipanano circa 1120 chilometri di vie d'acqua. È il più grande estuario della West Coast, dove confluiscano i fiumi che scendono dalle gigantesche valli di Sacramento e San Joaquin, nonché il più importante punto di smistamento di acque superficiali trattate della California.

Una siccità senza precedenti

L'attuale siccità della California è storica sotto ogni punto di vista. Il grafico in basso si basa sull'indice di siccità idrologica di Palmer, un algoritmo di umidità del terreno elaborato per misurare l'impatto a lungo termine dei periodi di siccità prendendo in considerazione i livelli dei bacini idrici, i dati relativi alle falde idriche e altri indicatori che si modificano più lentamente. I dati rendono chiaro che, malgrado la frequenza delle condizioni estreme, sia umide sia secche, sia andata aumentando a partire dagli anni settanta del Novecento, negli ultimi decenni tutte le regioni della California sono state interessate da una tendenza verso la siccità.

Periodo piovoso

Gli ultimi anni di siccità sono stati intervallati da anni insolitamente piovosi, ma l'umidità accumulata non ha controbilanciato la generale tendenza alla siccità. Situazioni simili si sono verificate secoli fa: i periodi di siccità che interessarono la California nel Medioevo e che si osservano negli anelli di accrescimento degli alberi includevano anche occasionali annate piovose.



Indice di siccità idrologica di Palmer

Ciascun punto del grafico in alto rappresenta il valore di un mese rispetto all'Indice di siccità idrologica di Palmer per ciascuna delle sette divisioni regionali. I punti all'interno dell'intervallo «normale» (da +4 a -4) sono riportati in trasparenza sullo sfondo.

- Rete idrica North Coast
- Rete idrica Sacramento
- Bacini Northeast Inter
- Rete idrica Central Coast
- Rete idrica San Joaquin
- Rete idrica South Coast
- Bacini Southeast Desert



Gli anni della Dust Bowl

La California fu risparmiata dagli effetti della Dust Bowl [letteralmente, Conca di Polvere, la serie di tempeste di sabbia che devastò gli Stati Uniti tra il 1931 e il 1939, N.d.R.], per cui i contadini provenienti dalle grandi pianure emigrarono qui in cerca di lavoro.

Tendenza verso la siccità

Le linee curve in evidenza sono linee di tendenza polinomiale che tracciano le fluttuazioni generali delle condizioni nelle sette divisioni regionali della California. La crescente densità delle linee grigie verticali dopo il 1975 indica un aumento della frequenza di entrambe le condizioni estreme, sia l'umidità sia la siccità. Tuttavia in generale tutte le linee tendono al basso durante questo periodo, indicando che tutte le regioni dello Stato tendono verso la siccità.

Siccità estesa e duratura

Una caratteristica insolita e negativa dell'attuale siccità è che colpisce a livelli estremi un numero elevato di regioni diverse in un grande Stato geograficamente variegato.

L'acqua che parte dai bacini idrici del nord per arrivare alle fattorie e alle città del sud deve passare da qui. Ci sono volute ore di viaggio su strade polverose di montagna per trovare Clifton Court Forebay, un piccolo angolo del delta, dove si trovano gli impianti di pompaggio che spingono l'acqua nel California Aqueduct verso Los Angeles, 550 chilometri più in là, e attraverso il canale Delta-Mendota in direzione delle fattorie della Central Valley.

L'intervento umano sulle acque superficiali della California è tale da farle somigliare più a un prodotto industriale che a una risorsa naturale. Una rete di bacini idrici statali e federali, una complessa griglia di canali e acquedotti e un intrico da capogiro di leggi e diritti idrici, regolamenti ambientali, sentenze e pareri legali dividono l'acqua in modo da lasciare tutti scontenti.

Metà circa dell'acqua superficiale resta nei torrenti, nei fiumi e nel delta, al fine di preservare le paludi e l'habitat dei pesci, come stabilisce la legge sulle specie a rischio, e per impedire che l'acqua marina risalga il delta e si riversi nei canali e negli acquedotti. L'altra metà è destinata alla popolazione: il 20 per cento alle città – a cui in aprile il governatore ha ordinato di ridurre il consumo, in media, di un quarto – e l'80 per cento agli agricoltori. In teoria. Quest'anno e lo scorso, le acque superficiali erano così scarse che alla maggior parte degli agricoltori non ne è arrivata affatto.

Data la gestione capillare delle acque superficiali californiane, lascia esterrefatti sapere che lo sfruttamento delle falde sotterranee, di gran lunga la parte più considerevole delle acque dello Stato, è assolutamente privo di regolamentazione. La California è l'unico Stato dove è possibile attingere quanta acqua si vuole dalle falde sotterranee, a patto che non la si sprechi o la si rivenda. L'attuale siccità ha scatenato una specie di corsa agli armamenti nella Central Valley: ogni contadino si precipita a trivellare più in profondità del proprio vicino, «come bambini di quattro anni con un frullato solo e tante cannucce», per dirla con un economista agrario. Nessuno sa quanta acqua si stia estraendo, ma i livelli delle falde sotterranee hanno raggiunto i minimi storici. L'agricoltore con il pozzo più profondo prende l'acqua, non importa se il vicino rimarrà senza.

Alcuni arrivano a 450 metri di profondità, raggiungendo un'acqua che potrebbe essere caduta sotto forma di pioggia anche 10.000 anni fa. Questa acqua «fossile», a contatto con i substrati geologici per così tanto tempo, spesso è contaminata da arsenico, cromo, e altri componenti. Trivellare così in profondità inoltre è costoso. I coltivatori che riescono a trovare un trivellatore per eseguire il lavoro – le liste di attesa possono durare anni – spendono anche mezzo milione di dollari, senza contare i costi di pompaggio dell'acqua da profondità talmente abissali.

Un pomeriggio, circa 300 chilometri a sud del delta, vicino alla cittadina di Visalia, ho seguito un pennacchio di fumo fino a un aranceto ricoperto di piante morte, che erano state raccolte in cataste grandi come case e incendiate. Il proprietario, che osservava lo spettacolo con aria cupa, mi ha detto di aver dato in affitto 32 ettari di terreno e 10.600 alberi sani a un coltivatore che la primavera scorsa ha deviato illegalmente le condutture e venduto l'acqua del pozzo della fattoria a un vicino, lasciando morire gli alberi.

Non sono solo i proprietari terrieri a farne le spese. A East Porterville, una cittadina di piccoli agricoltori della contea di Tulare, lo scorso dicembre Yolanda Serrato stava innaffiando il suo terreno quando l'acqua si è fermata, del tutto. I pozzi di circa 400 suoi vi-

cini si sono prosciugati più o meno contemporaneamente, lasciandoli a dipendere da un miscuglio di assistenza pubblica e beneficenza privata. Quando l'ho incontrata, Yolanda fissava la strada in attesa del camion che sperava le avrebbe portato qualche bottiglia d'acqua. Non è stato difficile vedere nel caso di East Porterville un precursore del giorno in cui i californiani saranno costretti a lasciare le loro case per mancanza di acqua.

Strati al collasso

La prima legge dell'idrodinamica dice che l'acqua scorre verso i soldi. Ci vorrà parecchio tempo prima che la maggior parte degli abitanti della California, specialmente delle città costiere, si trovi con i rubinetti vuoti. San Francisco è rifornita di acqua dall'Hetch Hetchy Reservoir, a 270 chilometri di distanza. Los Angeles – come sa chiunque abbia visto il film *Chinatown* – ha prosciugato la Owens Valley, a più di 320 chilometri di distanza, negli anni venti del Novecento, e oggi si rifornisce della maggior parte dell'acqua di cui ha bisogno da bacini ancora più a nord. Finché la California avrà almeno una goccia di acqua, questa defluirà senza alcun dubbio verso i ricchi residenti delle località costiere.

Nella Central Valley, però, i guai sono appena cominciati. Per capire perché bisogna seguire l'acqua della California nelle profondità sotterranee. La Central Valley è essenzialmente una depressione di 58.000 chilometri quadrati composta da argilla a strati, ghiaia, limo e sabbia, incuneata tra catene montuose di roccia dura. L'acqua viaggia lateralmente attraverso gli strati di ghiaia e sabbia con facilità, e questo è il motivo per cui un agricoltore che pompa l'acqua sotterranea può privarne il vicino. L'umidità, tuttavia, si conserva anzitutto negli strati di argilla, che la lasciano gocciolare d'acqua a poco a poco nella ghiaia e nella sabbia. È il modo in cui l'argilla immagazzina l'acqua che

rende questa corsa al pompaggio così preoccupante.

I disastri hanno un modo tutto particolare di catapultare gli scienziati dall'oscurità alla fama nel giro di una notte. Michelle Sneed, una giovane geologa dell'USGS, ha faticato anni per diventare un'esperta di un campo poco noto, la subsidenza dei terreni, che all'improvviso è divenuto cruciale per il futuro dello Stato. Mentre sedevano nel suo studio di Sacramento, sulle rive nord-orientali del delta, Sneed ha rivolto verso l'alto i palmi delle mani, ha incrociato le dita e mi ha spiegato che la struttura microscopica dell'argilla è composta da minuscole placche ammassate a casaccio. «Proviamo a immaginare quanta acqua si può raccogliere nel lavello della cucina quando buttiamo i piatti della cena alla rinfusa», ha detto. Poi ha spostato le mani, premendone i palmi uno contro l'altro. «Immaginiamo ora di impilare ordinatamente i piatti, e pensiamo all'effetto che avrebbe sullo spazio per l'acqua tra di essi». Questo è in pratica ciò che succede quando si estrae troppa acqua dal terreno troppo velocemente: le microscopiche piastre dell'argilla scivolano impilandosi verticalmente. In altre parole, lo strato di argilla collassa.

Ripristinare le falde

E centinaia di metri più in alto collassa anche il terreno superficiale. A partire dagli anni venti del Novecento vaste aree della Central Valley si sono abbassate di circa 9 metri. In appena due anni, tra il 2008 e il 2010, più di un decimo della Central Valley è sprofondata di oltre 5 centimetri. Questo rende ancora più diffi-

cile la distribuzione dell'acqua in tutta la California. Canali e acquedotti possono percorrere centinaia di chilometri senza pompe perché sono inclinati, anche solo leggermente, verso il basso. Ma basta un abbassamento anche minimo del terreno per interferire con il flusso, come è successo l'anno scorso nel punto in cui un grande canale defluisce nel San Luis Reservoir, nella California centrale. Ma l'interruzione della fornitura d'acqua non è la cosa peggiore che possa accadere. Quando collassa, l'argilla sotterranea non potrà mai più immagazzinare acqua, per cui la corsa all'acqua degli agricoltori non sta solo impoverendo le falde da cui dipendono, ma le sta anche distruggendo.

L'unica speranza è ripristinare l'acqua della falda il prima possibile. Il problema è che non tutti i tipi di terreno possono essere ripristinati allo stesso modo. Sotto metà circa della Central Valley c'è l'argilla di Corcoran, residuo di un antico letto lacustre che può essere trivellato dai pozzi ma che, diversamente dalla maggior parte delle argille, è impermeabile all'acqua. I geologi sono in grado di identificare aree prive di questo tipo di argilla, cioè permeabili e quindi geologicamente adatte per essere inondate al fine di ripristinare l'acqua sotterranea. Ma alcune di queste sono coperte da terreni lottizzati, centri commerciali o fattorie; identificare il terreno permeabile e ottenere il permesso di inondarlo è un compito formidabile.

Gli scienziati dell'Università della California a Davis stanno conducendo un esperimento per capire se i frutteti di mandorli che si trovano su un terreno geologicamente adatto possono essere inondati per ripristinare la falda sotterranea quando gli alberi sono nella fase inattiva invernale. L'intervento, però, pone problemi non solo geologici ma anche legali, perché le leggi della California impongono agli agricoltori di utilizzare l'acqua che ricevono dallo Stato solamente per «scopi benefici» e il ripristino delle falde sotterranee potrebbe essere impedito a livello giuridico in quanto «sovra-innaffiamento». Inoltre è dubbio che un agricoltore che immagazzina acqua in questo modo abbia poi diritto a riceverne una pari quantità in seguito. Inoltre, per inondare un campo o un frutteto per ricaricare le acque sotterranee serve molto più che un permesso e dei diritti legali: c'è bisogno di acqua. E ultimamente l'acqua non basta neppure per le coltivazioni attuali: non parliamo quindi di immagazzinarla per quelle future. Qualsiasi programma massiccio di ripristino dovrà aspettare l'arrivo di un anno piovoso.

La crisi si è rivelata abbastanza grave da consentire di mettere mano alle leggi sull'acqua della California, redatte 150 anni fa, compiendo un piccolo passo verso la regolamentazione delle acque sotterranee. Secondo una legge approvata a novembre, ognuna delle agenzie idriche dei 515 bacini acquiferi dello Stato ha cinque anni di tempo per presentare piani di uso sostenibile e altri 25 anni per metterli in atto. Il provvedimento inciderà sull'assetto politico dello Stato perché i dipartimenti urbani per l'acqua, i distretti di irrigazione degli agricoltori, le commissioni delle contee e le altre agenzie di gestione idrica – ciascuno dei quali vive nel proprio mondo, con propri dati riservati e interessi in competizione – dovranno associarsi in agenzie per la sostenibilità delle acque sotterranee e condividere la loro risorsa più preziosa. Nella sede del distretto idrico della Contea di Tulare ho incontrato Benjamin Siegel, a cui è stato affidato l'ingrato compito di formare una di queste agenzie insieme alla città di Visalia e a un di-

stretto locale di irrigazione. «È come inventare una nuova lingua», mi confessa.

Venticinque chilometri più avanti, il commissario per l'acqua Denise Atkins ha spiegato che anche solo mettere tutti d'accordo su chi potrà intervenire nell'agenzia locale è un incubo, per non parlare di arrivare un accordo sulla condivisione dei dati. «Cinque anni fa se volevi chiedere a un agricoltore "Che ne pensi dell'opportunità di installare un metro nel tuo pozzo?" avresti fatto bene a indossare un giubbotto antiproiettile», mi dice «Ora invece i contadini si stanno entusiasmando all'idea di conoscere quanta acqua usano». Ma aggiunge, sottovoce: «Anche se di solito è tutto un "Il mio vicino ne pompa troppa"».

Un clima diverso

Gli scienziati hanno opinioni discordanti sulle cause della siccità, in particolare sulle responsabilità di un cambiamento climatico antropogenico. L'anno scorso la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) lo ha negato, l'Intergovernmental Panel on Climate Change è stato possibilista e un gruppo di lavoro di climatologi di Stanford ha detto di sì. Il team di Stanford ha creato un modello del clima odierno e di quello preindustriale ed è giun-

to alla conclusione che le condizioni associate alla Tripla R adesso sono tre volte più probabili. Ma a prescindere dal fatto che il cambiamento climatico sia responsabile della siccità tutti sembrano d'accordo sul fatto che il caldo in più sta esacerbando gli effetti della scarsa umidità, dalle foreste della Sierra Nevada fino alle fattorie della Central Valley.

Dopo anni di una sorta di La Niña, a marzo il NOAA ha dichiarato l'inizio di un debole El Niño, ma ha fatto presente che non avrà un grande effetto immediato sul clima californiano. La California potrà aspettarsi qualche anno piovoso nel prossimo futuro, ma dalla cima della Sierra Nevada fino al fondo della Central

Valley il terreno è così secco che saranno necessari anni per idratarlo in maniera adeguata, e molto più tempo prima di iniziare a ripristinare la falda. Lo Stato può decidere di affrontare le attuali condizioni come un'anomalia e «gestirle come un disastro», ma sarebbe un terribile errore, sostiene Noah Diffenbaugh, del Woods Institute for the Environment a Stanford. «È chiaro che la California ora si trova in un clima diverso».

Se un clima diverso dovesse significare una siccità trentennale come quelle avvenute nel Medioevo, le foreste montane sono destinate a soccombere, perché la loro acqua non è monitorata; le vittime successive saranno le fattorie e i frutteti della Central Valley, che nell'ultimo secolo sono stati l'emblema della California.

Una scuola di pensiero sulla dell'agricoltura della California si può esprimere così: e allora? Il settore rappresenta solo il 2 per cento circa dell'economia della California, e la massa di alimenti a basso prezzo ma ad alta domanda idrica di cui ha goduto il mondo forse è sempre stata l'irrealistica illusione di persone prive di una prospettiva millenaria. «La California se la caverà bene», senza l'agricoltura, mi ha confessato Richard Howitt, economista agrario dell'Università della California a Davis. «Ci sposteremo verso un'economia simile a quella dell'Arizona. Dismetteremo l'agricoltura irrigata e ci daremo al cinema [2,1 per cento del prodotto interno lordo della California], all'*information technology* [8 per cento] e a tutto il resto». Non c'è dubbio che frutta e la verdura di-

La siccità sta cambiando la California quasi sotto ogni punto di vista: meteorologico, agricolo, sociale, economico e politico



A Porterville, i residenti rimasti senza acqua riempiono le taniche con acqua non potabile davanti alla stazione dei vigili del fuoco della contea di Doyle.

verranno più costose per tutti, ma la California potrebbe facilmente sopravvivere grazie al settore manifatturiero, alla sanità, alla finanza, all'educazione, che rendono la sua economia la settima per grandezza nel mondo; soprattutto se non dirottasse quattro quinti della sua acqua utilizzabile all'agricoltura irrigata.

Tuttavia è difficile immaginare che uno Stato innovativo come la California lasci semplicemente sparire l'orgoglio dei suoi campi. Più di un terzo dell'agricoltura della Central Valley è costituito da vigneti e frutteti – mandorle, noci, pistacchi e cedri – che rappresentano un enorme investimento che può richiedere fino a sette anni di tempo per fruttare. Gli agricoltori si stanno già rivolgendo a una fiorente industria hi-tech che produce irrigatori dotati di GPS, sistemi di irrigazione basati sulle previsioni meteo, sensori di umidità del terreno e altri dispositivi agroelettronici progettati per ridurre l'uso di acqua. Più drasticamente, a giugno lo Stato ha compiuto l'inconcepibile passo di imporre restrizioni del consumo idrico alla cosiddetta nobiltà agricola californiana – che gode di diritti sull'acqua delle valli di Sacramento e di San Joaquin risalenti alla corsa all'oro e considerati inviolabili. Viaggiando attraverso la California è facile avere la sensazione che i problemi – ma anche la creatività – siano solo all'inizio.

Strategie di adattamento

La siccità sta trasformando la California quasi sotto ogni punto di vista: meteorologico, geologico, biologico, agricolo, sociale, economico e politico. La combinazione di bassa umidità e alta temperatura sarà con ogni probabilità la condizione del futuro. Anche con sporadici anni piovosi, il clima inesorabilmente più caldo farà sì che le precipitazioni non cadranno come pesanti ammassi di neve che rilascia l'acqua lentamente, ma sotto forma di piogge torrenziali. Questo è il motivo per cui lo scorso novembre i californiani hanno approvato la *Proposition 1*, che prevede lo stanziamento di oltre 7 miliardi di dollari per la realizzazione di infrastrutture idriche, di cui circa metà per la costruzione di nuovi bacini, creati anche tramite dighe, un progetto di lavori pubblici di immani proporzioni. Ed ecco il lato positivo della siccità californiana: un costo per qualcuno è un'opportunità per qualcun altro.

Il Corpo genieri dell'Esercito degli Stati Uniti vuole togliere il cemento da un tratto di 18 chilometri del fiume Los Angeles, ora

un orribile canale di scolo che incanala fino a 780 milioni di litri d'acqua al giorno nell'oceano. L'intervento permettere almeno a una parte di quell'acqua di ricaricare la falda acquifera, iniettando oltre un miliardo di dollari nell'economia locale.

La desalinizzazione ha il potenziale per garantire alle aree costiere una quantità di acqua praticamente illimitata, ma è una tecnologia molto costosa, anche in termini di costo ambientale, perché ha bisogno di moltissima energia, e genera enormi quantità di residui salini che sono difficili da smaltire in sicurezza. Il vero potenziale per la gestione della siccità viene dalla conservazione e dal riciclo dell'acqua. Il Pacific Institute, un *think tank* ambientale di Oakland, stima che anche solo ottenendo una maggiore efficienza nella gestione dell'acqua da parte delle famiglie, sia dentro sia fuori casa, la California potrebbe risparmiare circa 3700 milioni di metri cubi all'anno, ovvero circa un terzo della quantità di acqua utilizzata a livello urbano.

La Proposition 1 prevede uno stanziamento di 725 milioni di dollari per il riciclo dell'acqua, ovvero sette volte la cifra massima mai stanziata dallo Stato. In realtà è solo un quinto di ciò che secondo il ramo californiano della WaterRuse Association, un'associazione commerciale dell'industria del riciclo dell'acqua, sarebbe necessario per massimizzare il potenziale di riciclo nello Stato, ma il finanziamento statale vorrebbe attrarre investimenti dalle municipalità, dalla contea e da privati per progetti di riuso dell'acqua. Dotare parchi cittadini, campi da golf, fabbriche, uffici commerciali e anche abitazioni dei cosiddetti «tubi viola» – che trasportano acqua sufficientemente pulita per l'irrigazione dei giardini, per i servizi igienici e altri usi non potabili – sta per diventare un settore multimiliardario dell'economia.

La transizione è già iniziata nella Contea di Orange, che dal 2008 sta trattando più di un terzo delle sue acque reflue fino a portarle a standard potabili per poi immetterle nella falda idrica. La contea trasforma un altro 17 per cento delle acque reflue in un prodotto sufficientemente pulito per le lavorazioni industriali, l'irrigazione dei giardini e gli usi domestici come l'acqua per i sanitari. Costruire l'infrastruttura è stato costoso, ma la maggior parte delle acque trattate costa alla contea un po' più della metà di quanto costerebbe importarla dal fiume Colorado, che è in rapido esaurimento. A novembre il Consiglio comunale di San Diego ha votato lo stanziamento di circa 3 miliardi di dollari in impianti che permetteranno alla città di riciclare abbastanza acqua da soddisfare i bisogni di un terzo della sua popolazione. WaterRuse insiste che la purificazione delle acque reflue potrebbe soddisfare il fabbisogno dell'intera municipalità, composta da 8 milioni di persone – un quinto della popolazione californiana – e creare al tempo stesso una quantità notevole di posti di lavoro.

La nuova normalità fa un po' paura, ma siamo in California: i problemi ci sono, è vero, ma «c'è oro nelle soluzioni».

PER APPROFONDIRE

Explaining Extreme Events of 2013 from a Climate Perspective. Herring S.C. e altri (a cura), in «Bulletin of the American Meteorological Society», Vol. 95, n. 9, pp. S1–S104, settembre 2014.

Unprecedented 21st Century Drought Risk in the American Southwest and Central Plains. Cook B.I., Ault T.R. e Smerdon J.E., in «Science Advances», Vol. 1, n. 1, articolo n. e1400082, 1° febbraio 2015.

Climate Change and California Drought in the 21st Century. Mann M.E. e Gleick P.H., in «Proceedings of the National Academy of Science», Vol. 112, n. 13, pp. 3858–3859, 31 marzo 2015.

Gli strani percorsi della corrente a getto. Masters J., in «Le Scienze» n. 558, febbraio 2015.

ITALIA

Il futuro delle risorse idriche in un clima sempre più caldo *di Jacopo Pasotti*



Ricordate l'estate torrida del 2003? A partire da maggio, e poi fino a luglio, le temperature erano ben al di sopra delle medie stagionali registrate fino ad allora. Scarsissime le piogge, fiumi e torrenti si prosciugavano. Era molta di più l'umidità che il suolo restituiva all'atmosfera rispetto a quella che precipitava dall'atmosfera al suolo. Il fenomeno ha un nome: siccità. In genere si aspetta che passi, ma se non passa diventa un problema serio. Questo accade anche prima del momento in cui l'acqua smette di uscire dal rubinetto di casa.

All'inizio della stagione irrigua la pianura padana era secca e riarso. Si soffriva nei campi, ma anche in città. La calura si com-

batteva con i megawatt: condizionatori al massimo e refrigeratori per gli alimenti che lottavano contro il caldo. I consumi energetici avevano raggiunto livelli record per la stagione, tanto da causare blackout elettrici in tutto il paese.

Quell'anno una serie di record climatici storici ha lasciato una traccia nella memoria comune. Poi però la storia è continuata, quei livelli si sono raggiunti nuovamente nel 2006, 2007, 2011 e 2012. E poi ancora nel 2015 (anche se per un periodo più breve). Ora un record del 2003 è stato superato: la temperatura massima di luglio 2015 ha segnato un record dal 1800 a oggi, e anche quest'anno il fantasma della crisi idrica ha occupato ampi spazi sui mezzi di comunicazione.

A questo punto potremmo ancora stupirci se nel 2016 regi-

A SECCO

Effetto siccità. Il ponte della Becca sul Po in secca, in provincia di Pavia, a luglio 2003 durante un prolungato periodo di siccità. A fronte, lo stesso ponte in un periodo di piena in inverno.



strassimo una nuova estate «sahariana», con pozzi e fiumi prosciugati? Quante volte deve ripetersi l'anomalia per diventare un fenomeno ordinario? Vale la pena porsi la domanda, visto che i modelli climatici indicano proprio questo.

Il caldo non è una novità nel nostro paese. Ma vedere l'Italia strizzata da nord a sud nella tenaglia di un clima subtropicale è già più raro. «Il clima italiano è di tipo mediterraneo», spiega Antonio Navarra, presidente del Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti climatici (CMCC). «Ci troviamo al bordo tra due fasce climatiche importanti: il clima subtropicale e arido del Nord Africa e quello temperato umido del centro Europa». Siamo insomma una terra di mezzo, un sipario che si apre e si chiude alternando due scenografie differenti, inverni umidi alternati a estati secche.

Questo sipario è più mobile di quanto immaginiamo, spiega Navarra, e dipende dal comportamento delle cosiddette «celle di Hadley»: due fasce simmetriche rispetto all'equatore, a scala planetaria, con correnti umide ascendenti all'equatore e correnti secche discendenti ai tropici. Queste fasce generano aree di alta pressione calde e secche semipermanenti, tra cui, nel nostro emisfero, l'anticiclone delle Azzorre e quello nord-africano. Dice Navarra: «I modelli climatici indicano che l'aumento dei gas serra sposta il ramo discendente della cella di Hadley e la zona di alta pressione subtropicale si sposta verso nord di qualche centinaio di chilometri. Così il carattere subtropicale del clima mediterraneo si accentua». Per i paesi lontani dal confine tra i due climi tutto questo potrebbe non avere un grosso impatto. Ma la penisola italiana «è seduta sul bor-

do, e noi siamo tra i primi a osservare gli effetti dello spostamento del confine climatico verso nord», spiega Navarra.

Le estati mediterranee sono insomma destinate a diventare più calde. Negli ultimi anni, tra l'altro, in estate l'anticiclone africano, più caldo e secco rispetto a quello atlantico, si è fatto più insistente: tende a scalzare l'anticiclone delle Azzorre, e quando si posiziona nel nostro settore blocca il passaggio di aria fresca dal nord o dall'Oceano Atlantico, aumentano le ondate di calore e i periodi siccitosi. Ma aumentano anche le piogge intense e violente, difficili da prevedere con i modelli attuali.

Modelli climatici più dettagliati

La novità però è che ora abbiamo modelli che possono aiutare a prevedere alcune criticità climatiche, dunque anche quelle idriche, a livello regionale per le diverse stagioni. È uno strumento nuovo, utile per prepararsi al futuro. Ma come mai lo strumento giunge ora, dopo cinque rapporti dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e decenni di studi? A spiegarlo è Paola Mercogliano, del Centro italiano ricerche aerospaziali (CIRA) e CMCC: «L'Italia è un paese particolare sia per morfologia che per posizione geografica. È composto da una varietà di microclimi: non esiste un clima italiano». Serve dunque un modello più dettagliato di quelli disponibili.

Finora i climatologi erano insoddisfatti dei modelli usati per descrivere gli scenari futuri in Italia. In sintesi, i modelli sono programmi al computer che calcolano la risposta dell'atmosfera al riscaldamento del Sole e della superficie terrestre. Per farlo, la Terra è suddivisa in una griglia e il computer applica complesse equazioni matematiche con cui, in ogni pixel della griglia, elabora il cambiamento di un parametro dell'atmosfera, come la temperatura o la concentrazione di vapore acqueo. Il problema era che la griglia usata aveva in media una risoluzione di circa 100 chilometri quadrati. Era insomma troppo larga per gli studi climatici in Italia. Un pixel poteva mostrare, per esempio, le stime di precipitazioni e temperature valutati tra il versante settentrionale e quello meridionale della catena montuosa che separa Liguria e Piemonte.

Ora però ad affiancare i modelli a scala globale esistono nuovi modelli regionali a maggiore risoluzione. Alcuni di essi hanno raggiunto un dettaglio di 25, al massimo 11 chilometri quadrati. Ma il modello usato da Mercogliano e colleghi è ancora più accurato: il dettaglio è di 8 chilometri quadrati, «una risoluzione altissima per gli studi climatici, più alta di quella impiegata mediamente in Europa», sottolinea Mercogliano. Grazie al modello chiamato COSMO-CLM, sviluppato da un consorzio europeo e messo a punto sull'Italia dagli scienziati di CMCC e CIRA, ora possiamo mettere il dito sulla carta e dire: ecco come sarà il clima dove vivo, sui campi che devo irrigare, sull'industria che devo far funzionare, sui pendii su cui devo prevenire le frane, sui boschi che devo proteggere dagli incendi e sui bacini idrici che devo regolare.

Mercogliano e colleghi hanno fatto girare il modello COSMO-CLM basandosi su due dei quattro scenari proposti nell'ultimo rapporto dell'IPCC e sulla loro capacità di modificare il bilancio

Jacopo Pasotti ha un passato da geologo e un presente da comunicatore scientifico, autore e giornalista. Ha vissuto in Australia e in Israele, ma lavora principalmente in Italia. Nel 2011 ha vinto il premio Piero Piazzano per il giornalismo scientifico e nel 2010 il Premio Internacional de Periodismo Ambiental Casa Mediterráneo.



Misure anti-caldo. Volontari della Protezione Civile distribuiscono acqua per le strade di Roma durante un'ondata di calore del 2012.

energetico terrestre. I quattro scenari dell'IPCC si chiamano *representative concentration pathways* (RCP): si va da RCP 8.5, noto anche come *business-as-usual*, secondo cui la concentrazione di anidride carbonica (CO₂) alla fine del secolo sarà tre-quattro volte più elevata rispetto ai livelli preindustriali, fino a RCP 2.6, scenario in cui intervengono azioni drastiche per una riduzione delle emissioni (questo scenario è da tutti giudicato troppo ottimista, inverosimile). C'è anche RCP 4.5, in cui saranno messe in atto alcune attività per ridurre le emissioni, così la concentrazione di CO₂ a fine secolo sarà contenuta a circa il doppio rispetto ai livelli preindustriali, e un altro scenario intermedio RCP 6.0.

In uno studio pubblicato su «International Journal of Climatology», Mercogliano e colleghi hanno analizzato le conseguenze degli scenari RCP 4.5, cioè quello possibile, e RCP 8.5, che seguiamo attualmente. Le variazioni climatiche sono valutate confrontando un periodo di riferimento (1971-2000) con gli scenari prodotti tra il 2071 e il 2100. Ecco i primi risultati.

Un futuro meno piovoso

Nel caso di RCP 4.5 l'aumento della temperatura media annuale in Italia è di 3,2 gradi Celsius per secolo, ma anche di 4 gradi nel caso del bacino del Po in inverno e su tutto il nord-ovest in estate. Continuando invece lungo la traiettoria di emissioni che seguiamo attualmente, sintetizzata in RCP 8.5, l'aumento della

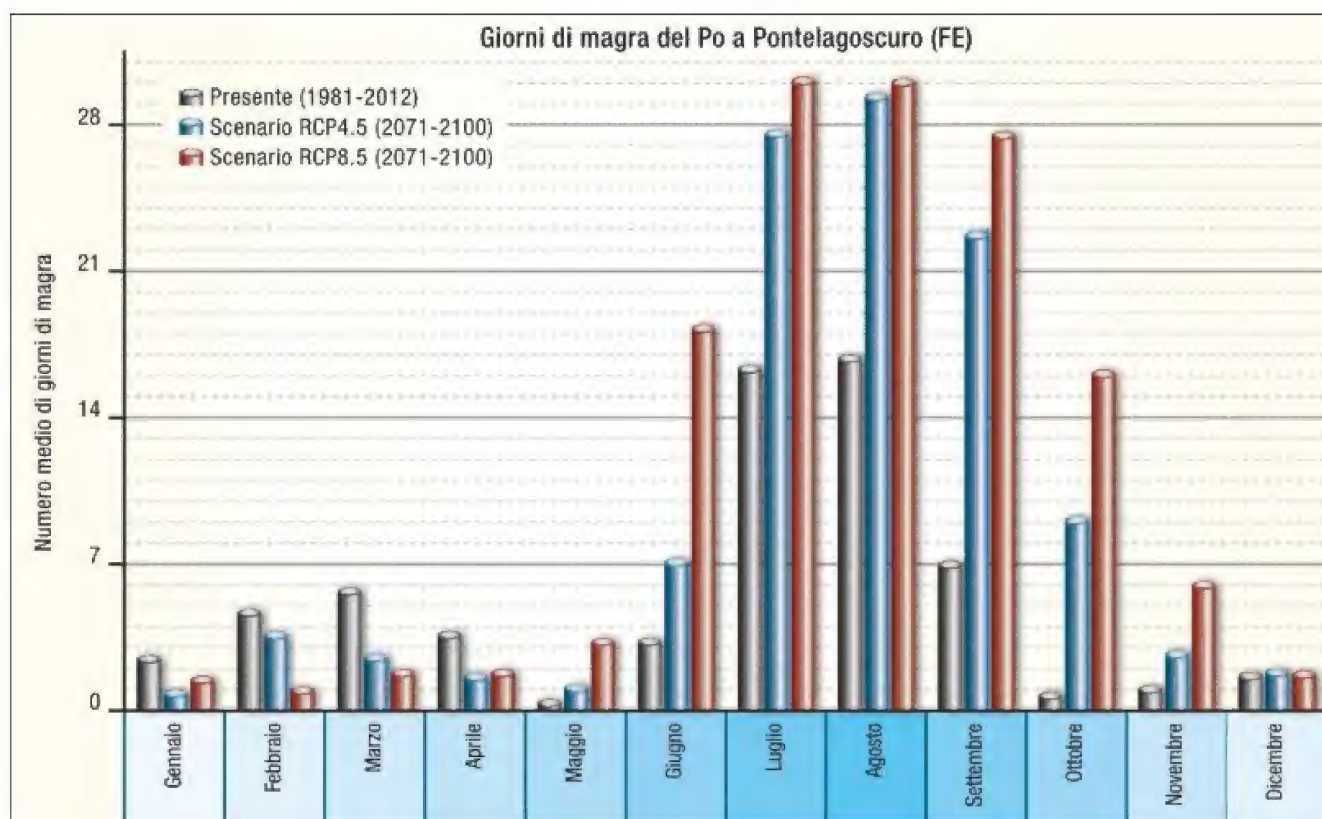
IN BREVE

I modelli climatici indicano che all'aumentare della concentrazione di gas serra in atmosfera si accentua il carattere subtropicale del clima mediterraneo.

Il clima italiano diventerà più simile a quello del Nord Africa, con estati sempre più secche e una generale diminuzione delle precipitazioni. Il bacino del Po potrebbe entrare in

crisi idrica più spesso rispetto a oggi, causando una maggiore difficoltà degli acquedotti a rigenerarsi e facendo perdere funzionalità a impianti per la produzione di energia idroelettrica,

con gravi conseguenze economiche. In tutto il paese potrebbe deteriorarsi l'acqua di falda, e al centro-sud sarebbero favoriti i processi di desertificazione.



temperatura media sarà di 6,3 gradi entro la fine del secolo. Nei mesi estivi le regioni settentrionali potrebbero registrare aumenti nella stagione estiva di più di 7,5 gradi.

Mediamente poverà di meno, ma non molto. I modelli prevedono un calo al massimo del 10 per cento rispetto al trentennio di riferimento. La riduzione si osserverà soprattutto al nord e nei mesi in cui sarebbe meglio che questo non avvenisse, cioè giugno, luglio e agosto. In questi mesi le precipitazioni potrebbero ridursi mediamente di 1,5-3 millimetri al giorno nella stagione estiva (al nord anche 3,5-4,5 millimetri al giorno nel caso di RCP 8.5). Le riduzioni saranno più accentuate nelle aree alpine. Secondo gli scienziati, al nord (soprattutto in Liguria) e al centro aumenteranno le precipitazioni invernali (anche più di 4-5 millimetri al giorno nel caso di RCP 8.5), accentuandone la stagionalità.

«Il nostro modello indica un aumento generale della temperatura e un calo delle precipitazioni, soprattutto in primavera e in estate», sintetizza Mercogliano. «Gli inverni saranno più umidi, ma estati e primavera saranno decisamente più secche nelle regioni settentrionali, dalla Liguria fino a Friuli-Venezia Giulia e Veneto».

Certo, i valori medi annuali sono un indice un po' vago, in un quadro in cui gli scienziati insistono su un clima che si sta estremizzando. «Il nostro modello non si limita ai valori medi annuali, fornisce anche indicazioni su eventi estremi e medie stagionali», sottolinea Mercogliano. Aumentano gli eventi meteo estremi come i periodi aridi, cioè giorni consecutivi con precipitazioni inferiori a un millimetro al giorno, che in regioni come la Toscana potrebbero aumentare tra il 30 per cento, secondo RCP 4.5, e l'80 per cento, in base a RCP 8.5. Aumentano anche le cosiddette «notte tropicali» (giorni in cui la temperatura minima è superiore a 20 gradi) e i giorni «estivi» (un aumento dai 10 ai 20 giorni con temperature massime sopra ai 25 gradi) e, anche, le precipitazioni intense (eventi piovosi che superano i 20 millimetri in un giorno).

A causa del generale aumento di temperatura, da un lato le precipitazioni diminuiscono, dall'altro la loro intensità aumenta. Ecco la radiografia della nuova configurazione meteo-climatica del nostro paese: una sorta di ibrido subtropicale-mediterraneo.

Il Po, estati asciutte?

Quello che colpisce nello studio del CMCC è il forte impatto del cambiamento climatico sulle regioni settentrionali, in particolare sul bacino del Po, il cui futuro idrologico è stato discusso su «Science of the Total Environment». «Il Nord Italia deve fronteggiare l'acuirsi di due problemi: da un lato ci saranno inverni con maggiori precipitazioni e un possibile aumento del rischio di inondazioni, dall'altro in estate il rischio di magre del Po sarà più frequente», spiegano Mercogliano e Renata Vezzoli del CMCC, autrici della ricerca, effettuata in collaborazione con il Servizio Idro-Meteo-Clima dell'ARPA dell'Emilia-Romagna.

Il bacino del Po è il più esteso d'Italia: copre una superficie di 71.000 chilometri quadrati, e alla foce ha una portata media di 1540 metri cubi al secondo. Nell'ultimo decennio il Po ha assunto diverse volte l'aspetto di un immenso nastro di sabbia e ghiaia che tagliava la Pianura Padana. Gli anni 2003, 2005, 2006 sono ricordati come quelli della grande magra: il minimo risale al 2005, quando alla foce è stata misurata una portata di 234 metri cubi al secondo. Oltre alle industrie si sono bloccati per lunghi periodi centrali termoelettriche, allevamenti e agricoltura. Diverse volte si è temuta la cosiddetta inversione marina: l'acqua salata risale dall'Adriatico nel delta del Po, con impatto sugli ecosistemi e, ovviamente, nella falda acquifera, con impatto anche sugli usi civili. Negli anni cinquanta questa risalita poteva essere di 2-3 chilometri, oggi l'acqua marina può penetrare anche per 20 chilometri.

Anche quest'anno il Po si è rinsecchito, un evento a cui non possiamo abituarci. Affinché funzioni il paese, deve funzionare

il bacino del Po. Nel ventaglio dalla foce fino alle vette alpine si forma il 40 per cento del prodotto interno lordo italiano. Il bacino del Po sostiene il 37 per cento dell'industria, il 35 per cento della produzione agricola e il 55 per cento della zootecnica nazionali. E infine produce il 50 per cento dell'energia idroelettrica e un terzo di quella termoelettrica. Ma il Po non può funzionare se le sue vene si inaridiscono.

Secondo lo studio di Vezzoli e colleghi, il Po potrebbe entrare in crisi idrica molto più spesso di quanto sia avvenuto fino a oggi a causa della combinazione fra temperature elevate, riduzione delle precipitazioni e aumentata richiesta anche per prelievi irrigui. Il risultato più clamoroso riguarda il numero di giorni di magra del Po a Pontelagoscuro, poco a monte del delta, previsti entro fine secolo. Gli eventi di magra sono definiti rispetto alla soglia «di allarme», che a Pontelagoscuro si supera quando la portata del fiume scende sotto gli 824 metri cubi al secondo. Se oggi, tra luglio e agosto, le statistiche indicano circa due settimane di magra per mese, in futuro il Po sarà permanentemente sotto la soglia di allarme di magra in quei mesi, e per circa due settimane anche nel mese di settembre. Tutto questo indipendentemente dallo scenario considerato (RCP 4.5 o RCP 8.5). Parliamo insomma di dieci settimane di magra invece di due (si veda il grafico a p. 53).

Ma tutto questo riguarda un futuro lontano? Non proprio. Nella zona di Piacenza, tra il 1932 e il 1987 la portata media di agosto era di circa 1000 metri cubi al secondo. Tra il 1991 e il 2012 questo valore è già sceso a circa 800 metri cubi al secondo.

In sintesi, si prospettano 2,5 mesi di magra in estate, quando evaporazione e traspirazione mettono a dura prova le coltivazioni e l'afa frena l'industria zootecnica. I terreni si induriscono e le autorità provvedono a razionare le risorse idriche, mentre cresce la competizione tra i diversi settori per l'impiego delle riserve.

Il meridione e il deserto che cresce

Ovviamente il problema idrico non riguarda solo il nord, anzi. Più di un quinto del territorio italiano è classificato a rischio di desertificazione. Già il termine richiama il nostro legame con il Nord Africa, e una certa distanza dal resto dell'Europa centrale e settentrionale. La desertificazione nel meridione e nelle isole è cronica. È un fenomeno complesso, dovuto non solo al clima, ma anche alle caratteristiche e all'uso del suolo, ed è in espansione: aumentano le aree il cui suolo, compattato, eroso, impermeabilizzato e salinizzato si impoverisce e diventa sterile. La desertificazione è un processo che tende ad autalimentarsi. Un terreno che si secca in profondità non si accontenta di poche piogge, anche forti, per ripristinare un discreto livello di umidità. E un terreno secco, tra l'altro, inibisce l'innescarsi di quei brevi temporali estivi locali che restituiscono un po' di umidità al terreno stesso.

Tra il sud e le isole il 40 per cento del suolo è minacciato da intensi processi di degrado. Dal 1999 esiste un piano nazionale per la lotta alla desertificazione, che fornisce alle autorità le linee guida per combattere il degrado del suolo soprattutto per quanto riguarda le attività umane: corretta gestione delle foreste, prevenzione degli incendi, pianificazione territoriale che tenga conto del carattere del suolo. Ma la lotta contro il deserto che avanza è impari, soprattutto se il clima rema contro.

Ed è proprio questo che osservano Luca Salvati e Luigi Perini, entrambi del Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, in uno studio sulla aridità in Italia, pubblicato su «Ecological Indicators». In diverse aree del paese il fenomeno della siccità sta mutando in uno stato di aridità. La differenza fra aridità

Vite che sale, olivo che ha sete

Diversi settori economici e industriali iniziano a valutare i possibili impatti del nuovo quadro climatico. Il settore agricolo comincia a pensare a strategie di adattamento, sebbene non sia l'unico. Basta vedere i rischi che corrono alcune colture caratteristiche dell'Italia, vite e olivo, per capire che in gioco c'è ben di più dell'aumento delle vendite riguardanti sistemi di condizionamento per gli appartamenti.

«L'areale della vite si sposterà verso nord, aumentando la competizione con altri paesi produttori», spiega Marco Bindi, professore di agronomia all'Università di Firenze. «In Italia la fascia di coltivazione salirà di quota. Il Chianti, ora prodotto da vitigni collocati intorno ai 200 metri di altitudine, si sposterà a 400 metri, il che comporterà una riduzione delle aree coltivabili; un po' per l'idoneità dei suoli, un po' perché si sovrapporrà ad aree forestali». Il rischio, in sintesi, è soprattutto quello della riduzione di aree dedicate a vini di alta qualità.

Per l'olivo potremmo assistere a un anticipo delle fioriture e al rischio che coincida con eventi estremi. «Dobbiamo anche attenderci una maggiore incidenza di fitopatie, come la mosca del 2014 e l'occhio di pavone di quest'anno, anche attacchi come quelli di *Xylella fastidiosa* avvengono con maggiore facilità su colture stressate», spiega Bindi. Al momento, solo l'8 per cento delle coltivazioni di olivo richiedono irrigazione, ma in un clima che si inaridisce la domanda di acqua per uso agricolo è destinata a crescere. Questi sono solo due esempi, ma frumento, mais e girasole avranno rese minori. I pascoli alpini subiranno una riduzione anche del 15-20 per cento lungo la catena appenninica. «Per il settore agricolo stimiamo che le perdite sul PIL possano essere dello 0,7 per cento per un aumento di 2 gradi e del 2 per cento per un aumento di 4 gradi», conclude Bindi.

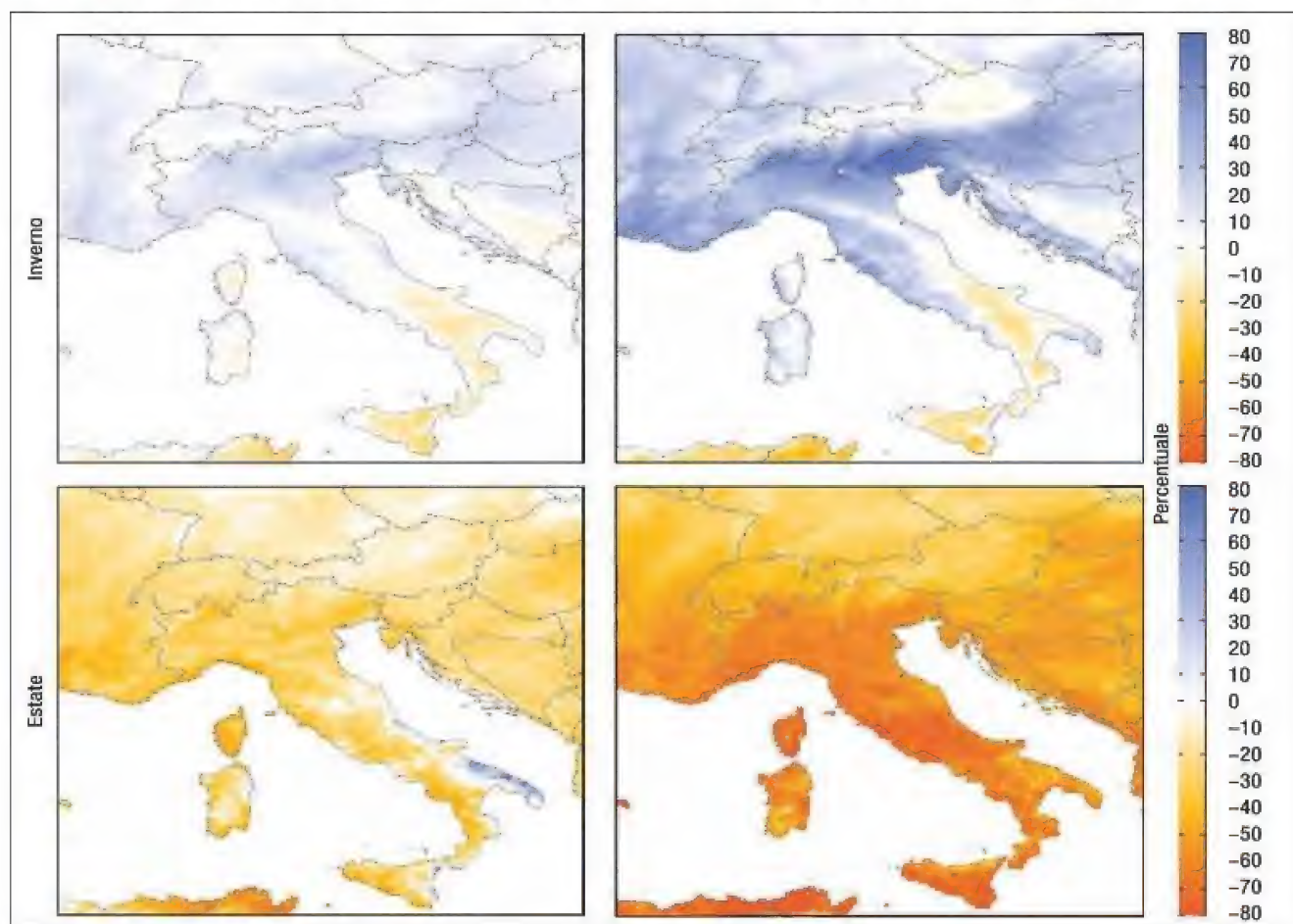
e siccità non è sottile: è equivalente a quella fra clima e tempo meteorologico. La siccità spaventa ma passa, l'aridità è invece una condizione con cui si deve convivere a lungo. In un clima arido il deserto si combatte con la cura del suolo e tanta acqua. Ci vuole insomma più acqua di quanta ne evapori e ne traspirino le piante.

Purtroppo in Italia le precipitazioni sono meno abbondanti, qualitativamente meno efficaci e peggio distribuite nell'arco dell'anno, dicono i due esperti. Assistiamo al graduale aumento dell'aridità in tutto il paese, almeno a partire dalla metà del Novecento e in accelerazione negli ultimi trent'anni, concludono Salvati e Perini. In estate 14 regioni su 20 soffrono di precipitazioni incapaci di compensare evaporazione e traspirazione e forse questo non ci stupisce. Purtroppo gli studiosi hanno osservato anche che sono in aumento le aree in cui a primavera il rapporto tra precipitazioni ed evapotraspirazione è deficitario. Al sud basta poco per fare il salto e passare da un carattere mediterraneo a uno arido. Tant'è che secondo i due esperti la Sardegna è diventata una regione arida. Per le altre le criticità sono stagionali, ma la Sardegna è seguita da vicino da Puglia, Calabria, Sicilia, Basilicata.

Come mitigare gli impatti

Come evitare quindi di trovarsi a fine secolo a promuovere escursioni nel neonato «deserto italiano» e sostenere invece un territorio produttivo? Aspetteremo il momento in cui l'acqua non sgorgnerà più dal rubinetto? Secondo l'Organizzazione per

Che pioggia farà? Mappe alla migliore risoluzione raggiunta per le stagioni invernali e estive, per gli scenari RCP 4.5 (colonna di sinistra) e RCP 8.5 (colonna di destra) entro fine secolo. Indicano le percentuali delle variazioni di precipitazione annuale per queste stagioni.



la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE) il nostro paese soffrirà di un aumento fino al 25 per cento del deficit idrico, a causa della combinazione di diminuzione della risorsa e aumento della domanda, soprattutto per uso agricolo. Nel 2003 la mancata produzione di energia idroelettrica ha causato perdite complessive per 280 milioni di euro; la siccità del 2007 ha fatto registrare un impatto perfino maggiore: 670 milioni di euro.

In futuro il deficit idrico nel bacino del Po causerà una maggiore difficoltà degli acquiferi a rigenerarsi e un peggioramento delle qualità dei suoli difficile poi da ripristinare. Lunghi periodi di siccità favoriranno anche una maggiore esposizione a inondazioni e frane. Alcune opere per la produzione di energia idroelettrica potrebbero perdere funzionalità. Potrebbe deteriorarsi l'acqua di falda e, soprattutto nel centro-sud, sarebbero favoriti i processi di desertificazione. Addirittura la navigazione di laghi e fiumi potrebbe subire l'impatto delle magre frequenti.

Con lo scarseggiare di una risorsa dovrebbe migliorare la gestione, vero. Ma ora bisogna dare spazio a un attore che, da comparsa, è diventato un attivo protagonista: il cambiamento climatico. In particolare il riscaldamento dell'atmosfera e l'alterazione della distribuzione e stagionalità delle precipitazioni.

«Dobbiamo studiare in anticipo l'impatto della tropicalizzazione sulle risorse idriche e adottare strategie di mitigazione e adattamento», spiega Navarra. «È come fare un'assicurazione». Tutto questo ha un costo, ovvio, ma il risparmio rispetto ad agire in

emergenza è indubbio. E ora che scarseggia, la risorsa idrica non è più solo un problema di natura ingegneristica, come è stato considerato fino a oggi, ma è anche una questione di natura economica e sociale, spiega Roberto Roson, economista all'Università Ca' Foscari di Venezia. Proprio quest'anno poi, le Nazioni Unite hanno pubblicato un rapporto dal titolo *L'acqua per un mondo sostenibile*, in cui avvertono che i consumi idrici, soprattutto agricoli ed energetici, sono insostenibili, e la domanda globale crescerà del 55 per cento entro il 2050. Prima di entrare in una fase di emergenza idrica «bisogna rivedere le politiche che coinvolgono le risorse idriche – dice Roson – attribuendo un valore, anche economico, mai riconosciuto all'acqua». Valore che si riconosce a qualunque bene comune, in particolare quando scarseggia. ■

PER APPROPONDIRE

Extreme Temperature and Precipitation Events Over Italy: Assessment of High-Resolution Simulations with COSMO-CLM and Future Scenarios. Zollo A.L., Rillo V., Bucchignani E., Montesarchio M., Mercogliano P., in «International Journal of Climatology», pubblicato on line il 30 giugno 2015. doi: 10.1002/joc.4401.

High-Resolution Climate Simulations with COSMO-CLM Over Italy: Performance Evaluation and Climate Projections for the XXI Century. Bucchignani E., Montesarchio M., Zollo A.L., Mercogliano P., in «International Journal of Climatology», pubblicato on line il 15 maggio 2015. doi: 10.1002/joc.4379.

Assessing Trends in Climate Aridity and Vulnerability to Soil Degradation in Italy. Colantoni A., Ferrara C., Perini L., Salvati L., in «Ecological Indicators», Vol. 48, pp. 599-604, gennaio 2015.

Una lente enorme.

Montato sul telescopio Gemini South, GPI è uno strumento straordinario, dedicato alla ricerca di esopianeti giganti gassosi.





ASTRONOMIA

In cerca di un altro

Giove

Due gruppi di astronomi competono per essere i primi a realizzare immagini dirette di pianeti giganti in orbita intorno ad altre stelle. Quello che scopriranno potrebbe cambiare il futuro della ricerca dei pianeti extrasolari

di Lee Billings

Lee Billings è associate editor di «Scientific American». È autore di *Five Billion Years of Solitude: The Search for Life among the Stars* (Current/Penguin Group, 2013).



Ad alta quota, nelle remote Ande del Cile centrale, il cielo notturno è così scuro che si riesce a malapena a distinguere le costellazioni, immerse come sono in una moltitudine di stelle più deboli. Questa visione familiare eppure aliena può essere sconcertante, ma altri pensieri rendono inquieto Bruce Macintosh quando alza lo sguardo, in una tarda serata di maggio del 2014. Anche qui, a 2700 metri sul livello del mare, un oceano di atmosfera si frappone all'osservazione, e il vento si sta alzando. Le stelle cominciano a scintillare un po' troppo per i suoi scopi.

Macintosh è qui in cerca di altre Terre, o più esattamente di altri Giovi, la cui esistenza, secondo alcuni scienziati, è un necessario presupposto per quella di pianeti rocciosi abitabili simili alla Terra. Non intende dare la caccia a pianeti extrasolari come fa la maggior parte degli altri astronomi, effettuando osservazioni per mesi o anni finché lievissime alterazioni del moto o della luminosità di una stella rivelano gradualmente la presenza di un mondo invisibile. La sua strategia è molto più essenziale: vuole ottenere vere e proprie fotografie di pianeti remoti, osservarli come puntini luminosi in orbita attorno alle loro stelle e vedere, al di là dell'abisso di anni luce che li separa da noi, il loro disco striato di gas. Macintosh, astronomo della Stanford University, definisce questo metodo «*imaging diretto*».

Ma il vento non è l'unica preoccupazione di Macintosh: 600 chilometri più a nord, su un'altra arida vetta cilena, Jean-Luc Beuzit tenta di fare esattamente la stessa cosa. Beuzit, astronomo dell'Institut de Planétologie et d'Astrophysique di Grenoble è amico di Macintosh, ma anche suo rivale. I capricci del destino e dei finanziamenti hanno portato i due sulle Ande nello stesso momento, a setacciare il cielo in cerca di pianeti e tentare di scoprire se il nostro mondo è comune o è una rarità a livello cosmico.

Lo strumento a cui Macintosh si affida in questa competizio-

ne astronomica è un complesso di ottiche e sensori, delle dimensioni di un'automobile e del costo di parecchi milioni di dollari, denominato Gemini Planet Imager (GPI). È montato sull'enorme specchio di 8 metri del telescopio Gemini South, un disco levigatissimo di vetro argentato che occuperebbe un ottavo di un campo regolamentare da pallacanestro. La risposta di Beuzit a GPI è un marchingegno ancora più grande, delle dimensioni di un furgone, denominato SPHERE, acronimo di Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch. SPHERE è montato su un altro telescopio di 8 metri, presso il Very Large Telescope array dell'European Southern Observatory. Entrambi i progetti hanno avuto una fase di sviluppo superiore a un decennio, ma hanno debuttato a qualche mese di distanza l'uno dall'altro. Appollaiati su vette remote, osservano più o meno le stesse stelle, cercando di essere i primi a realizzare sensazionali fotografie di Giovi alieni.

Degli oltre 5000 pianeti extrasolari che sono stati scoperti negli ultimi vent'anni, solo un numero irrisorio è stato fotografato direttamente. Ottenere immagini è difficile perché anche i pianeti più grandi e meno abitabili sono comunque oggetti molto deboli e, visti da grande distanza, appaiono vicini alle loro stelle, di gran lunga più luminose. La fotografia di un pianeta – anche se è solo una minuscola chiazza di pixel – racchiude preziose informazioni su



IN BREVE

Gli astronomi conoscono migliaia di pianeti che orbitano attorno ad altre stelle, ma sono riusciti a ottenere immagini solo di pochissimi di questi mondi. Gli altri sono stati individuati e studiati per lo più attraverso misurazioni indirette.

Le immagini di un pianeta permettono di acquisire informazioni su composizione, clima e

potenziale abitabilità del corpo celeste. Ma realizzarle è difficile, perché i pianeti sono oggetti deboli e vicini alle stelle, assai più luminose.

Fotografare pianeti simili alla Terra è al di fuori delle possibilità dei telescopi attuali. Ma oggi una nuova generazione di strumenti fornisce immagini di mondi più grandi e più luminosi, in qualche

misura simili a Giove.

Questi nuovi strumenti aiuteranno da un lato gli scienziati a descrivere come nascono i pianeti giganti e come modificano la regione del cosmo situata nelle loro vicinanze, e dall'altro prepareranno l'avvento di futuri dispositivi in grado di fotografare Terre aliene.



In alto e al secco.

SPHERE, un altro strumento per la ricerca diretta di pianeti, cerca Giovi alieni dal sito del Very Large Telescope, nel remoto deserto di Atacama, in Cile.

composizione, clima e potenziale abitabilità dell'oggetto. La ricerca di mondi simili a Giove di GPI e SPHERE è lo stato dell'arte: non sono stati ancora costruiti telescopi abbastanza grandi e perfezionati da riuscire a distillare la debole luce di una Terra aliena dal soverchiante bagliore della stella vicina. Ma, quando e se diventerà possibile, questi futuri osservatori useranno quasi certamente strumenti sviluppati in questi due progetti.

In astronomia, come nella vita di tutti i giorni, vale il principio del «vedere per credere». Sebbene l'imaging diretto possa essere arduo, è potenzialmente molto più veloce delle tecniche standard di individuazione di pianeti, dato che si affida a fotografie che si ottengono in ore o giorni anziché a un'analisi minuziosa di grandi archivi di dati stellari, che può richiedere mesi o anni per essere completata. Ecco perché nella gara per realizzare le prime immagini di Giovi alieni non è esagerato affermare che contano anche i minuti.

La tartaruga e la lepre

Il tempo è una preoccupazione costante per Macintosh, mentre lavora nella sala di controllo di Gemini South in quella tarda serata del maggio 2014. Ha un volto da ragazzo, con una zazzera bruna e occhi vivaci dietro le spesse lenti degli occhiali. Si sostiene solo con bevande gassate e adrenalina, ancora in preda al *jet lag* dopo una serie di voli dalla California al Cile. Ha una scarpa slacciata e un lieve odore di bruciato pervade l'aria, proveniente da una cena a base di pizza surgelata ormai carbonizzata nel vicino tostapane. E mentre guarda una serie di schermi di computer che monitorano i dati fondamentali di GPI, sembra che nella stanza ci sia solo il suo corpo: la mente è altrove, nell'adiacente cupola che ospita il telescopio di otto metri, intenta a seguire i fasci di luce che rimbalzano nel suo strumento.

Prima che GPI possa iniziare la caccia a nuovi pianeti, deve su-

perare il processo di *commissioning*, una lunga serie di test e calibrazioni iniziata a fine 2013 e ormai arrivata alle fasi finali. Si tratta di un lavoro tedioso e oscuro: nessuno è mai stato premiato per aver garantito che uno strumento funzionasse. In una competizione dove si misurano i minuti, GPI ha un vantaggio di 250.000 minuti rispetto a SPHERE, che ha appena iniziato le prime fasi del *commissioning*. Tuttavia per Macintosh è una magra consolazione, perché SPHERE è dotato di strumenti con prestazioni migliori e può contare su più tempo garantito a disposizione presso il telescopio. Questi vantaggi dovrebbero offrirgli la possibilità di osservare un maggior numero di stelle, in un campo di vista più ampio, con una risoluzione spettrale superiore, in un intervallo di frequenze più esteso. In altri termini, anche se GPI è partito molto prima, come la lepre della celebre favola di Esopo, SPHERE potrebbe comunque superarlo, allo stesso modo della tartaruga, e individuare per primo i tanto cercati pianeti.

Lo scintillio delle stelle è una conseguenza della turbolenza atmosferica, che ha costretto GPI a ritardi rispetto alla tabella di marcia. In attesa che il vento si calmi, Macintosh mi racconta aneddoti di diversi anni fa, quando lui, Beuzit e altri membri dei gruppi di GPI e SPHERE si divertivano ai convegni di astronomia di tutto il mondo, senza immaginare che un giorno sarebbero stati avversari. Quei momenti sono passati. «Ci incontravamo per sbronzarci e raccontare storie», ricorda Macintosh. «Ma anche adesso i nemici non sono loro: sono nubi e vento».

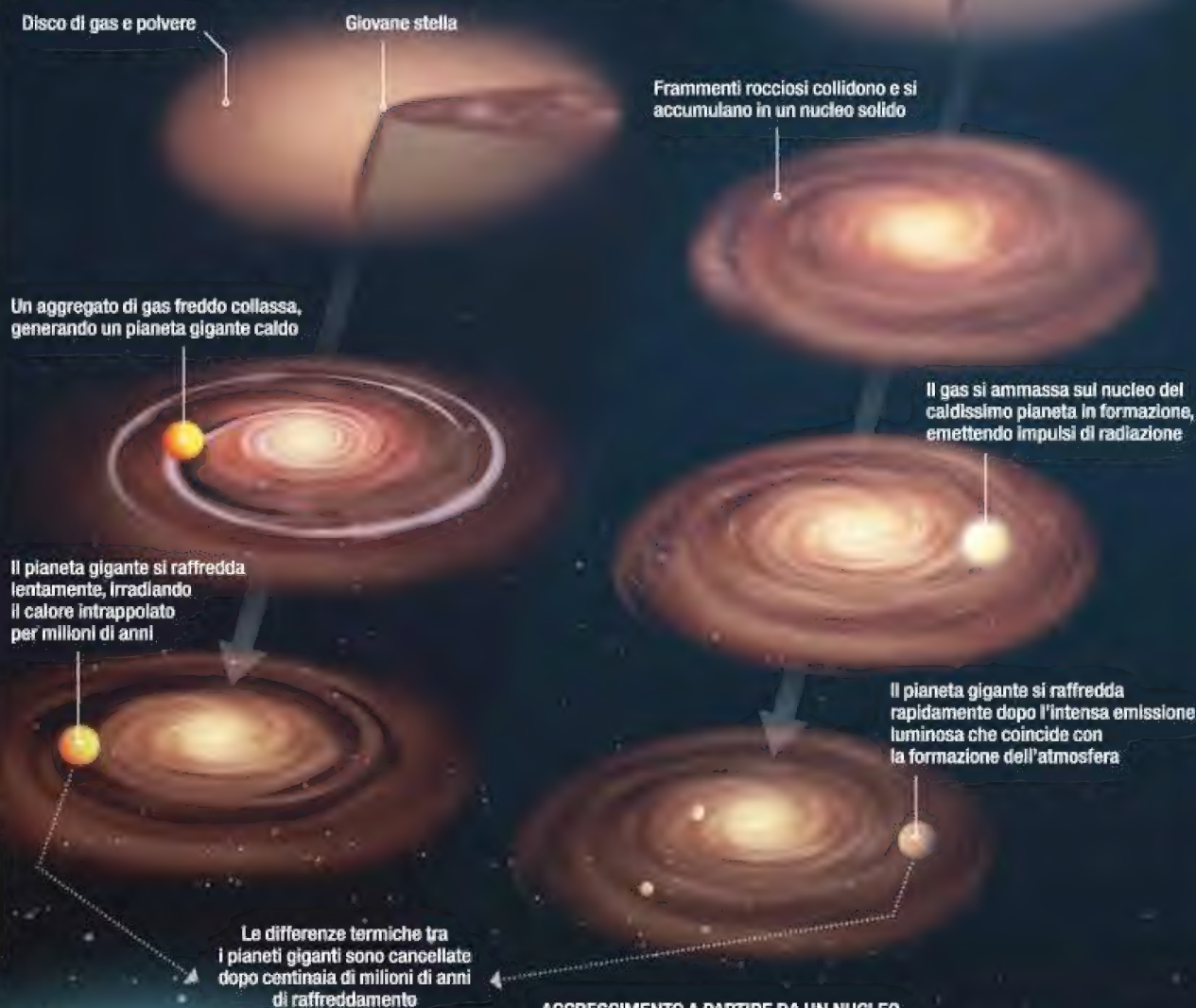
Dopo circa mezz'ora il vento si è calmato. «Ok, diamo un'occhiata a HD 95086», esclama Macintosh, girandosi sulla sedia per rivolgersi alla decina di membri del gruppo nella stanza. Tutti passano all'azione, digitando comandi sulla tastiera dei computer che controllano il telescopio nella cupola accanto. In pochi istanti lo strumento è puntato sul bersaglio, una stella nana bianco-azzurra che si trova a 300 anni luce dalla Terra, nella costellazione

Due scenari per la nascita di un gigante gassoso

I pianeti si formano dagli stessi dischi di gas e polvere che danno origine alle stelle. Il processo di accrescimento a partire da un nucleo costruisce i pianeti giganti «dal basso in alto», attraverso l'accumulo di piccoli corpi che gradualmente si assemblano in un nucleo massiccio, in grado di circondarsi di una densa atmosfera. C'è anche una seconda via più rapida, «dall'alto in basso», in cui a causa dell'instabilità del disco aggregati di gas collasano direttamente in pianeti. In media, i giovani pianeti giganti formatisi con il primo dei due processi dovrebbero essere più freddi dei loro simili formatisi in seguito all'instabilità del disco. Misurando le temperature dei giovani pianeti giganti con immagini nell'infrarosso, GPI e SPHERE potranno stabilire a quale dei due processi ipotizzati si deve l'origine della maggior parte di questi corpi.

INSTABILITÀ DEL DISCO

Quando nasce una stella, inizia il conto alla rovescia per la formazione dei pianeti giganti: la radiazione stellare spazza via il gas residuo in milioni di anni, lasciando una finestra temporale per l'accrescimento del nucleo e l'accumulo di gas. Viceversa, un aggregato denso e freddo di gas può collassare e generare un pianeta gigante in migliaia di anni. Un collasso così rapido genera intenso calore, che rimane intrappolato nel pianeta, rendendolo luminoso nell'infrarosso per milioni di anni.



ACCRESIMENTO A PARTIRE DA UN NUCLEO

Particelle di polvere e ghiaccio collidono e si aggregano in grani, poi in ciottoli, poi in grandi frammenti rocciosi, costruendo il nucleo del pianeta gigante. Quest'ultimo si riscalda, emettendo impulsi di radiazione sotto forma di onde d'urto che attraversano il gas in fase di accumulo. Questa breve ma intensa irradiazione contribuisce a raffreddare il nuovo pianeta allontanando il calore e lasciandolo più freddo e meno luminoso di un pianeta di pari età formatosi con il meccanismo dell'instabilità del disco.

della Carena. HD 95086 è una stella giovane in termini astronomici – ha un'età di appena 17 milioni di anni – e ha un pianeta gigante con una massa cinque volte superiore a quella di Giove, che orbita a una distanza dalla stella approssimativamente doppia rispetto a quella di Plutone dal Sole. Questo pianeta è già stato osservato nel corso di precedenti e meno potenti progetti di imaging diretto, quindi il gruppo calibrerà GPI confrontando le nuove immagini con i risultati già disponibili.

Come tutti i mondi che sono oggetto delle ricerche di GPI, questo particolare pianeta ha avuto appena il tempo di raffreddarsi dopo la formazione e appare molto luminoso nell'infrarosso. In termini di luminosità, la maggior parte dei pianeti è milioni o miliardi di volte più debole della propria stella, come una particella di polvere attorno a una palla di fuoco termonucleare. Ma i pianeti di tipo gioviano nelle prime fasi della propria esistenza sono diversi. Sono più simili a tizzoni roventi che si raffreddano intorno a un falò, ecco perché GPI e SPHERE hanno qualche probabilità di poterli osservare e stabilire come si sono formati ed evoluti.

Le misteriose origini di Giove

Fra gli esperti, è un dato di fatto imbarazzante che non si conosca esattamente come abbia avuto origine l'oggetto più grande in orbita attorno al Sole. Ma è una lacuna che va colmata a tutti i costi, perché Giove e gli altri pianeti giganti sono gli architetti del sistema solare e plasmano tutto ciò che li circonda.

I pianeti giganti conosciuti che orbitano attorno ad altre stelle sono per la maggior parte abbastanza diversi da Giove. Molti seguono orbite ravvicinate, con un periodo di pochi giorni, che non hanno alcun termine di confronto nel sistema solare. La teoria prevalente è che questi mondi infernali siano nati molto più lontano dalla propria stella e che si siano avvicinati a essa, seguendo una traiettoria a spirale, in seguito a interazioni gravitazionali con altri pianeti o flussi di gas. Una simile migrazione pregiudicherebbe l'abitabilità del sistema, lungo il cammino infatti il campo gravitazionale di un pianeta gigante che si sta avvicinando alla propria stella molto probabilmente scaglierebbe eventuali piccoli pianeti rocciosi nell'oscurità dello spazio esterno o li farebbe precipitare nella fornace stellare. Simili pianeti giganti sono troppo vicini alla propria stella per ottenerne un'immagine diretta con la tecnologia attuale.

Anche Giove, nelle prime fasi della sua vita, effettuò probabilmente una migrazione simile a quella dei suoi cugini esoplanetari molto più caldi, ma per ragioni sconosciute fu una migrazione solo temporanea, e non portò il pianeta gigante a ridosso del Sole. Al contrario, Giove si avventurò forse fino all'altezza dell'attuale orbita di Marte, per poi ritirarsi di nuovo nel sistema solare esterno, dove da allora è sempre rimasto. E, sebbene i moti di un pianeta gigante possano pregiudicare l'abitabilità di un sistema planetario, nel caso di Giove sembra abbiano reso addirittura più ospitale il sistema solare. Si ritiene che, come minimo, le peregrinazioni di Giove abbiano scagliato comete e asteroidi ricchi d'acqua verso il nostro pianeta già formato, dando origine agli oceani che sono fondamentali per la vita. Ma l'incursione di Giove nel sistema solare interno potrebbe anche avere sgombrato il campo da altri pianeti preesistenti, agevolando la formazione della Terra.

In ogni caso, un giorno Giove potrebbe riprendersi quello che ha donato. Tra milioni di anni potrebbe provocare nuovamente un bombardamento di asteroidi giganti o comete sul nostro pianeta, generando impatti catastrofici che farebbero evaporare gli oceani e distruggerebbero la biosfera.

Tutti questi dettagli, in una certa misura, possono essere fatti risalire alla natura e alla cronologia della misteriosa nascita di Giove. Di certo c'è che poco più di 4,5 miliardi di anni fa il collasso di una nube fredda di gas e polvere formò il Sole. I resti della nube che non vennero inglobati nella stella nascente generarono un disco, e da questa materia si generarono i pianeti. Essendo relativamente piccoli, i mondi rocciosi si assemblano facilmente in un processo «dal basso verso l'alto» di accrescimento attorno a un nucleo, in cui i frammenti rocciosi che collidono si accumulano a poco a poco in un arco di tempo fino a circa 100 milioni di anni. La maggior parte dei ricercatori ritiene che Giove si sia formato allo stesso modo. Ma la sua formazione avrebbe dovuto essere molto più rapida, con la costruzione di un nucleo delle dimensioni della Terra in una decina di milioni di anni; in questo modo Giove avrebbe avuto tempo a sufficienza per raccogliere attorno a sé un'atmosfera massiccia prima che la materia gassosa del disco fosse spazzata via dall'intensa radiazione della giovane stella.

C'è però un'altra possibilità. I pianeti giganti potrebbero formarsi più o meno allo stesso modo delle stelle, in un processo «dall'alto in basso» alimentato dall'instabilità del disco. In questo scenario, un oggetto simile a Giove diventerebbe un pianeta attraverso il rapido collasso diretto di un aggregato freddo e molto denso di gas e polvere nelle regioni periferiche di un disco circumstellare. È quasi impossibile stabilire oggi quale dei due scenari sia valido per Giove, poiché le eventuali prove ancora presenti sono letteralmente sepolte dalla densa e opprimente atmosfera del pianeta gigante.

Fortunatamente c'è un altro modo per verificare se i pianeti giganti hanno origine attraverso l'uno o l'altro dei due processi, che consiste nel misurarne la temperatura. Una formazione diretta dall'alto

in basso, a partire da un aggregato di gas in fase di collasso, sarebbe così rapida che un'enorme quantità di calore rimarrebbe intrappolata nel pianeta. Il processo inverso invece diventerebbe a pianeti giganti che, sebbene inizialmente roventi, diventerebbero poi relativamente più freddi. «Via via che il gas si accumula attorno a un nucleo roccioso, la sua caduta è intralciata dal gas sottostante, dall'atmosfera che si sta formando attorno al nucleo», spiega uno dei membri di GPI, Mark Marley, con il quale ho parlato più tardi. Marley è un teorico della formazione planetaria all'Ames Research Center della NASA e ha contribuito a mettere a punto un modello di questo processo. «Il rallentamento del gas provoca lo sviluppo di un'onda d'urto e gran parte dell'energia del gas in caduta viene irradiata verso l'esterno; questo meccanismo raffredda velocemente il pianeta in formazione. Perciò, quando il gas smette di affluire, il pianeta è molto più freddo di quanto sarebbe se si fosse formato tramite collasso diretto».

Questo significa che la temperatura di un pianeta gigante è, a tutti gli effetti, un ricordo della sua nascita. Via via che il pianeta invecchia e si raffredda, quel ricordo tende a svanire. Con i suoi circa 4,5 miliardi di anni, Giove ha dimenticato da lungo tempo in

**Per quanto
imbarazzante,
gli addetti ai lavori
non sanno ancora
con esattezza come
ha avuto origine
l'oggetto più grande in
orbita attorno al Sole**

che modo si è formato. Ma i pianeti giganti di età inferiore ad alcune centinaia di milioni di anni, i pianeti che GPI e SPHERE cercano di fotografare nell'infrarosso, dovrebbero conservare intatti i propri ricordi termici. Con l'osservazione di centinaia di giovani e luminose stelle vicine, entrambi i progetti potrebbero misurare la temperatura e indagare la storia di decine di pianeti giganti, decifrandone i segreti della formazione e chiarendo come potrebbero avere origine sistemi planetari abitabili simili al nostro.

Fotografare un Giove alieno

Mentre il gruppo di GPI si prepara a osservare HD 95086, un cerchio monocromo appare su uno degli schermi di Macintosh. Sembra contenere un liquido fatto di pixel, come l'ingrandimento digitale di un fiume impetuoso o la statica sullo schermo di un televisore non sintonizzato.

«Quello che si vede è il vento», spiega Macintosh. «È la luce della stella che attraversa la turbolenza atmosferica e arriva a un rivelatore che controlla le nostre ottiche adattive.» Queste ultime sono schermi deformabili azionati da computer, che cambiano forma centinaia o addirittura migliaia di volte al secondo per contrastare le distorsioni provocate dall'atmosfera, permettendo agli astronomi di ottenere immagini di oggetti celesti in grado di competere con quelle dei telescopi spaziali. Digitando alcuni comandi sulla tastiera e fornendo istruzioni verbali al suo gruppo, Macintosh aziona le ottiche adattive di GPI. Montati sotto al telescopio di otto metri, i due specchi deformabili – un *woofer* in vetro acquistato di serie e un *tweeter* più piccolo, costruito su misura, dotato di oltre 4000 attuatori – ora si curvano in sincronia, facendo corrispondere ogni effimero disturbo o flusso dell'aria sovrastante in grado di degradare l'immagine con un lieve avvallamento o rialzo della propria superficie, annullando così ogni perturbazione della luce stellare. Il risultato sembra magico: il cerchio turbolento sullo schermo di Macintosh torna a essere uniforme e tranquillo, come se l'atmosfera sopra di noi fosse scomparsa all'improvviso. HD 95086 è ora un punto luminoso sullo schermo. Non c'è traccia di un pianeta.

Per evidenziare quest'ultimo, di cui si conosce già l'esistenza, Macintosh aziona un altro dispositivo, un coronografo, che intercetta la maggior parte della luce stellare: la radiazione incontra una serie di maschere che filtrano il 99 per cento dei fotoni. Quelli che riescono a passare sono focalizzati e diretti su uno specchio con un foro centrale levigato con precisione a scala atomica. «La luce della stella cade nel foro», spiega Macintosh, mentre quella di un pianeta rimbalza sullo specchio e prosegue il suo cammino nello strumento, raggiungendo uno spettrografo super-raffreddato che la separa nella lunghezze d'onda (o colori) costituenti.

L'immagine sullo schermo è ora un alone punteggiato di luce biancastra attorno a una profonda ombra centrale che corrisponde alla posizione di HD 95086. I punti – o macchie – sono dovuti alla luce stellare indesiderata che riesce a oltrepassare il coronografo e possono nascondere un pianeta nelle immagini di GPI o, viceversa, simularne la presenza. Per distinguere tra un pianeta e una macchia, il gruppo realizza fotografie a diverse lunghezze d'onda dell'infrarosso. «La separazione tra stella e macchia è proporzionale alla lunghezza d'onda dell'immagine», afferma James Graham, responsabile scientifico del progetto GPI e professore all'Università della California a Berkeley, mentre guardiamo lo schermo. Alle lunghezze d'onda più corte, cioè più blu, una macchia appare più vicina alla stella, mentre a lunghezze d'onda maggiori, più rosse, la stessa macchia sembra allontanarsi, spiega Gra-

ham. «Perciò, quando si osserva l'intera sequenza di lunghezze d'onda, le macchie si muovono, ma un pianeta rimane immobile.»

Macintosh fa scorrere avanti e indietro la serie di immagini, come fotogrammi di un film, e l'alone sembra respirare, espandendosi e contraendosi per il moto simultaneo di tutte le macchie. Tutte, tranne una: un puntino solitario e immobile di luce planetaria pescato in un mare di perturbazioni stellari. In meno di mezz'ora, siamo passati dal vedere solo il vento all'osservare un mondo remoto attorno a un'altra stella. Ulteriori analisi spettrali realizzate sui dati di GPI indicano che il pianeta è assai rosso, forse a causa di un eccesso di polvere nell'alta atmosfera che diffonde la luce. È un piccolo dettaglio, ma è entusiasmante poterlo evidenziare su un mondo che si trova a 300 anni luce di distanza.

Non tutti i bersagli sono così difficili da osservare; le stelle più vicine e più luminose possono mostrare più facilmente alcuni loro segreti. In precedenza GPI ha impiegato solo 60 secondi di esposizione per fotografare Beta Pictoris b, un giovane e caldo pianeta gigante a 63 anni luce dalla Terra, che orbita attorno alla propria stella a una distanza quasi doppia rispetto a quella che separa Giove e Sole. La facilità con cui è stato osservato questo pianeta fa pensare che l'imaging diretto stia diventando *routine*: un'immagine simile di Beta Pictoris b era già stata ottenuta con un dispositivo un po' più vecchio montato su Gemini South, anche se in quel caso erano state necessarie più di un'ora di osservazione e una massiccia post-produzione. Le nuove immagini hanno permesso al gruppo di GPI di stimare l'orbita di Beta Pictoris b con una precisione mai raggiunta: si è così scoperto che nel 2017 il pianeta, visto dalla Terra, potrebbe transitare davanti alla propria stella, un allineamento raro che sarebbe manna dal cielo per gli scienziati che cercano ulteriori informazioni sul remoto gigante.

Un puntino tremolante

Nelle ore che rimangono prima dell'alba, il gruppo di GPI fotografa stelle binarie, deboli dischi di detriti e anche Titano, satellite di Saturno, spingendo lo sguardo attraverso la densa e fosca atmosfera ricca di idrocarburi fino alla sua superficie maculata. All'alba, quando ormai il bagliore del Sole che sorge comincia a rischiare l'orizzonte, Macintosh si appoggia allo schienale della sedia e sospira, esausto ma soddisfatto.

Nell'ultima notte della settimana di osservazioni, il gruppo di GPI scopre il suo primo pianeta, che orbita intorno a una stella dell'età di 20 milioni di anni a una distanza doppia di quella tra Giove e Sole. Non è Macintosh il primo a individuarlo: il merito va a Robert De Rosa, specializzando dell'Università della California a Berkeley, che nota il puntino tremolante mentre osserva, sopra la spalla di un collega, alcune immagini di GPI per il resto poco significative. Le osservazioni successive mostrano che il nuovo pianeta ha una massa 2-3 volte superiore a quella di Giove, con un'atmosfera ricca di metano e una temperatura sufficiente a fondere il piombo. Il pianeta dista circa 100 anni luce dalla Terra, ma è l'oggetto più simile a Giove che sia stato finora individuato.

«Questo è il primo pianeta mai scoperto che somigli a una versione calda di Giove anziché a una stella molto fredda», commenta Macintosh. «Potrebbe essere abbastanza giovane da serbare memoria del suo processo di formazione. Con un numero sufficiente di osservazioni potremo determinarne massa ed età e capire se si è formato dal basso in alto, come riteniamo abbia fatto Giove, o dall'alto in basso come una stella.»

Macintosh mi chiede di non divulgare questa scoperta fino a che il gruppo di GPI non abbia scritto un articolo scientifico e lo

abbia presentato per la pubblicazione. «Anche SPHERE potrebbe vedere il pianeta con facilità» ammette. «E non sappiamo se abbiano già osservato la stessa stella. Siamo preoccupati che possano anticiparci.» [L'articolo è stato pubblicato ad agosto 2015 su «Science», si veda la sezione «Per approfondire». N.d.R.]

Prima luce per il futuro

Poco dopo l'alba, lascio Gemini South, salgo su un aereo diretto a nord, noleggiando un'automobile e mi avvio su una strada deserta ad alta quota che attraversa il deserto di Atacama in Cile, percorrendo oltre 600 chilometri per raggiungere SPHERE prima che scenda la notte. Arrivo all'osservatorio che ospita lo strumento, il Very Large Telescope, poco dopo il tramonto. In una stanza di controllo, Beuzit, il leader del progetto, arringa le truppe per dare inizio al commissioning. Gli astronomi sono chini sugli schermi dei computer e conversano in francese, tedesco e inglese, cercando di ignorare telecamere e microfoni di una *troupe* cinematografica che realizza un documentario. Beuzit, con la chioma scura e incolta e la barba, ricorda un po' il regista Stanley Kubrick. Passa da una postazione all'altra, fermandosi qua e là ad ascoltare e dare consigli. Su uno scaffale è appoggiata una bottiglia vuota di champagne e sull'etichetta campeggia la scritta a pennarello «Prima luce di SPHERE».

SPHERE si comporta in maniera perfetta durante il commissioning, producendo meravigliose immagini di una varietà di oggetti celesti, tra cui un debole anello di polvere attorno a HR 4796A, stella dell'età di otto milioni di anni che si trova a 237 anni luce dalla Terra, nella costellazione del Centauro. Quando, più tardi, ho guardato l'anello con la stella centrale nascosta dalla maschera, ho avuto l'impressione di essere osservato: sembra un occhio enorme che scruta dagli abissi dello spazio interstellare. Ma, nonostante le belle immagini, Beuzit mi spiega che, nella notte della mia visita, SPHERE non è ancora pronto ad andare a caccia di nuovi pianeti. Le ottiche adattive del sistema hanno qualche problema: alcuni attuatori che variano la curvatura dello specchio deformabile composto da 1377 elementi, e del costo di un milione di euro, non funzionano a dovere e nessuno del gruppo riesce a capirne il motivo. La soluzione definitiva, prosegue Beuzit, potrebbe essere la sostituzione dell'intero specchio con uno nuovo, basato su una tecnologia differente degli attuatori. Tuttavia, è ottimista sul fatto che sia SPHERE sia GPI non solo raggiungeranno, ma supereranno i loro obiettivi. Nel frattempo il commissioning è andato avanti: si è concluso all'inizio del 2015, fornendo una serie di osservazioni scientifiche preliminari nonché immagini di diversi sistemi planetari già fotografati in precedenza.

Quando chiedo della rivalità tra SPHERE e GPI, la prima reazione di Beuzit è sorridere e sorseggiare il caffè. Dopo una pausa risponde, scegliendo bene le parole. «Quando tutti e due cominceremo a scoprire nuovi pianeti, nessuno ricorderà chi è stato il primo a iniziare le osservazioni», dichiara. «Non dico che non ci sia competizione. Ma Bruce Macintosh e io ci conosciamo da 15 anni, e tutti e due sappiamo quanto sia difficile questo tipo di progetto. Festeggiamo i nostri successi e condividiamo le nostre diffi-

coltà per migliorare entrambi i sistemi, per preparare la strada alla prossima generazione di osservatori e di dispositivi per l'imaging.»

«Stiamo entrando in una nuova era, in cui tutti questi nuovi strumenti diventano operativi quasi simultaneamente», continua Dimitri Mawet, professore del California Institute of Technology e a in quel periodo responsabile scientifico della strumentazione di SPHERE. «Scopriremo senza dubbio cose straordinarie, ma faremo anche progredire in maniera significativa la tecnologia delle ottiche adattive. Questo sarà fondamentale per la prossima generazione di telescopi, che avranno bisogno di questo tipo di controlli solo per mantenere allineati i loro giganteschi specchi.»

Uno di questi nuovi telescopi sorgerà appena 20 chilometri a nord-est di SPHERE, a 3000 metri di quota sul Cerro Armazones. Poco dopo la mia visita, la vetta è stata spianata con esplosivi per creare lo spazio necessario all'European Extremely Large Telescope, uno dei tre grandiosi osservatori che si prevede entrino in funzione fra circa un decennio. Accoppiato con il colossale specchio di 30-40 metri di uno di questi osservatori, che avrà una capacità di raccogliere la luce di gran lunga superiore a tutti gli strumenti attuali, un sistema simile a SPHERE o GPI potrà fotografare non solo oggetti intrinsecamente luminosi come un Giove alieno, ma anche pianeti più freddi, 1000 volte più deboli e potenzialmente abitabili, in orbita attorno alle stelle più vicine al Sole. Una missione spaziale dedicata all'imaging diretto potrebbe poi studiare questi pianeti in maniera ancora più approfondita, cercando segni di vita, ammesso che simili mondi esistano. La prospettiva di scrutare Terre aliene con immagini dirette è proprio quello che motiva



Un occhio sbarrato. La luce della stella HR 4796A è mascherata in questa immagine realizzata da SPHERE, rivelando un debole anello di polvere che potrebbe essere stato formato da un pianeta invisibile.

molti di coloro che lavorano a progetti come GPI e SPHERE.

È quanto mi ha detto Macintosh: «Vedo quello che stiamo facendo come un incedere lungo la via per fotografare un'altra Terra. Un giorno ci riusciremo. Se raccoglieremo dati sulla popolazione di piccoli pianeti rocciosi che hanno caratteristiche rilevanti – oceani, ossigeno atmosferico e così via – e scopriremo che sono un numero esiguo, sarà importante. Non cambierà di certo il cammino della nostra civiltà, almeno non nel futuro prevedibile. Ma da un punto di vista filosofico, poter dire “non ci sono altri mondi come il nostro entro 1000 anni luce” potrebbe indurci a fare qualcosa di più per non rovinarlo del tutto.» ■

PER APPROFONDIRE

Discovery and Spectroscopy of the Young Jovian Planet 51 Eri b With the Gemini Planet Imager. Macintosh B. e altri, in «Science», pubblicato on line il 13 agosto 2015. doi: 10.1126/science.aac589.

Exoplanet Detection Techniques, in Protostars and Planets VI. Fischer D. e altri, University of Arizona Press, 2014.

First Light of the Gemini Planet Imager. Macintosh B. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 111, n. 35, pp. 12.661-12.666, 2 settembre 2014.

SPHERE Science Verification. Leibundgut B. e altri, in «Messenger», n. 159, pp. 2-5, marzo 2015.

In cerca di vita su altri pianeti. Angel J.R.P. e Woolf N.J., in «Le Scienze» n. 335, luglio 1996.

Albe di cieli lontani. Lemonick M.D., in «Le Scienze» n. 541, settembre 2013.



Adattarsi o morire:

I pecci di Sitka della British Columbia potrebbero aver bisogno di farsi prestare qualche gene da alberi che vivono in climi più caldi.



AMBIENTE

FORESTE IN MARCIA

Il clima peggiora,
ma gli alberi non
possono muoversi
verso posti migliori.
Così sono gli scienziati
a spostare i geni di cui
hanno bisogno

di Hillary Rosner

Hillary Rosner è una giornalista freelance del Colorado. Scrive per riviste e quotidiani, tra cui «National Geographic», «New York Times» e «Wired».



In un campo di Vancouver, proprio di fronte a una fila ordinata di case bianche, circa 500 pecci di Sitka *Picea sitchensis* si slanciano verso il sole. È il 2013, e questi alberi triangolari dagli aghi verde scuro fittamente impacchettati sono stretti uno contro l'altro, spalla contro spalla, o in qualche caso spalla contro tronco. Anche se i pecci sono stati piantati tutti nello stesso periodo, sette anni prima, sono diversi in altezza quanto un gruppo di bambini di una scuola elementare radunati per la foto di classe.

Gli alberi più piccoli, alti una settantina di centimetri, sono originari di Kodiak, un'isola dell'Alaska; i più alti, oltre due metri, vengono dall'Oregon. L'altezza non è l'unica differenza visibile. I pecci dell'Alaska hanno germogliato tre mesi prima degli altri, un'intera stagione; e sono rimasti verdi e in salute a prescindere da quanto siano calate in basso le temperature.

I pecci sono stati messi a dimora in questo campo, a un estremo del colossale campus della University of British Columbia, per un esperimento che cerca di chiarire in che modo gli alberi si adattano alle condizioni locali. Che un albero sia adattato al proprio habitat può sembrare un'ovvietà. Ma capire i dettagli è importante per via di una minaccia che incombe: questi habitat stanno cambiando con il riscaldamento del pianeta, e non è che un albero possa alzarsi e andare a stare da un'altra parte. Una specie che non riesce a stare al passo con i cambiamenti climatici è spacciata.

Dal momento che gli alberi non possono spostarsi da soli, gli scienziati stanno esplorando una soluzione innovativa: spostare il loro DNA. È per questo che Sally N. Aitken ha piantato la pecceta. Direttrice del Centro per la genetica della conservazione forestale dell'università, Aitken è convinta che la salvezza per le foreste della British Columbia – e altre sparse per il pianeta – possa dipendere da una tecnica chiamata flusso genico assistito. La tecnica potrebbe aiutare le specie ad adattarsi alle condizioni future spostando organismi con specifiche caratteristiche da una parte a un'altra del loro areale naturale. Gli alberi dell'Oregon e quelli dell'Alaska potrebbero avere geni che metterebbero in grado le due popolazioni di aiutarsi a vicenda. Ma senza un intervento gli alberi non si incontrerebbero mai.

Come in un matrimonio combinato, un forestale può prendere semi da pecci o pini contorti (*Pinus contorta*) a basse altitudini e piantarli più su. Via via che le temperature aumentano sui pendii più alti, i semi trapiantati cresceranno e si riprodurranno con le loro controparti locali, diffondendo i loro geni adattati al caldo nella zona e aiutando così la foresta ad adattarsi. Il flusso genico assistito potrebbe dare alle specie una mano evolutiva.

Ma non è che si possa prendere un albero dell'Oregon, piantarlo 2000 chilometri più in là nel nord della British Columbia e aspettare che la colonnina di mercurio salga. Il motivo per cui non si può ha a che fare con gli stessi adattamenti genetici che rendono interessante l'idea del flusso genico. I pini contorti, per esempio, crescono in regioni molto varie già in quella stessa provincia del Canada. I loro geni aiutano alcuni alberi a tollerare meglio il caldo, il freddo, la siccità, oppure a schermarsi da malattie locali e da parassiti. Se un fronte artico attraversa Vancouver, colpendo i pini trapiantati da regioni più calde, questi soffriranno. Come dice Aitken: «Gli spostamenti vanno fatti un passettino per volta. I cambiamenti previsti nei prossimi decenni sono davvero grandi, ma abbiamo ancora molta variazione da un anno all'altro, da una settimana all'altra, da un mese all'altro, una variazione a cui gli alberi devono sopravvivere».

Farsi un'idea di come trovare il giusto accoppiamento tra i semi di oggi e i cambiamenti climatici di domani non è un compito da poco. Ma nella British Columbia, dove il legname rappresenta un terzo delle esportazioni e le foreste commerciali quasi la metà di tutta la copertura forestale, è di importanza vitale. La legge provinciale richiede che le foreste siano ripiantate dopo il taglio per supportare le forniture future di legname e la salute degli ecosistemi. Ogni anno si piantano circa 250 milioni di semi. Ma la provenienza di questi semi e la distanza a cui si possano o si debbano spostare sono problemi più complessi, e più pressanti. Un errore può voler dire condannare la foresta per decenni.

L'esperimento sui pecci di Sitka, in cui sono stati usati alberi provenienti da 14 diverse località, dalla California fino all'Alaska, è stato il piccolo studio pilota di Aitken prima di un lavoro più ampio finalizzato a evitare passi falsi così fatali. La ricerca ha prodotto 35 segmenti di DNA associati alla resistenza al freddo e ai tempi di germogliamento.

Ora Aitken e il suo team stanno setacciando altri genomi di alberi, in cerca di geni che codificano per proteine legate ad altri caratteri ambientali. La loro speranza è che qualche variante (o al-

IN BREVE

Le foreste si adattano geneticamente per sopravvivere nelle condizioni locali, ma il clima sta cambiando più in fretta di quanto gli alberi possano arrivare ad adattarsi.

Per prevenire la morte delle foreste, gli scienziati stanno spostando gli alberi che portano varianti geniche legate all'uso dell'acqua e alla tolleranza per il calore vicino ad altri alberi che

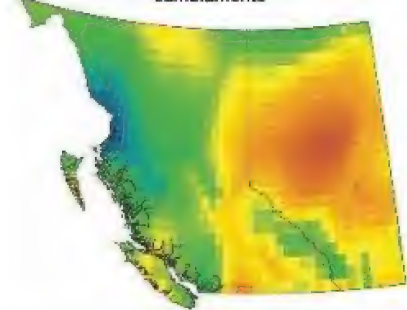
hanno bisogno di quel DNA, per farli riprodurre. **La tecnica, detta flusso genico assistito**, è in via di sperimentazione in varie zone climatiche della British Columbia, in Canada.

Tendenze meteo per gli alberi

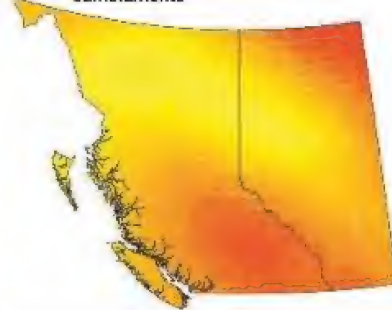
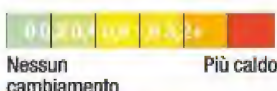
Gli scienziati hanno confrontato il passato con il presente per capire quali sono le tendenze climatiche recenti nella British Columbia e se si discostano da quelle che gli alberi hanno conosciuto durante la seconda metà del secolo scorso. Hanno raccolto le osservazioni dirette delle stazioni meteo di tutta la provincia tra il 1961 e il 1990. Hanno poi confrontato questa linea di base con le medie di un periodo più recente, dal 1997 al 2006. Per il periodo recente hanno indicato se le medie fossero più umide, più secche, più calde oppure invariate rispetto alle medie precedenti.

La conclusione è che il clima è diventato molto più umido lungo la costa del Pacifico, cosa che i ricercatori collegano alla comparsa di focolai di una ruggine degli aghi che un tempo era rara. Allo stesso tempo il clima è diventato più secco nelle aree interne, il che può spiegare la moria di abeti e di pioppi in quelle zone. Gli inverni sono stati più caldi in tutta la British Columbia, consentendo al coleottero *Dendroctonus ponderosae*, mortale per gli alberi, di diffondersi ad altre foreste. (La metodologia usata in questa analisi è stata pubblicata sulla rivista «Agricultural and Forest Meteorology» nel 2009.)

Cambiamento nelle precipitazioni
Differenza rispetto alla media storica
(percentuale)



Cambiamento nelle temperature invernali
Differenza rispetto alla media storica
(gradi Celsius)



lele) vantaggiosa di questi geni si diffonda tra le popolazioni che hanno bisogno di quei tratti, più o meno in sincronia con i cambiamenti climatici che rendono utili quei geni.

Questo progetto più ampio, denominato AdapTree, potrebbe aiutare a preparare il terreno per futuri progetti di flusso genico assistito in tutto il pianeta, un lavoro che potrebbe a sua volta aiutare altre specie che svolgono un ruolo cruciale negli ecosistemi. In mare, per esempio, i coralli raccolgono cibo e forniscono riparo a specie di ogni tipo. Alcuni ricercatori di Stati Uniti, Abu Dhabi, Qatar e Australia hanno suggerito di spostare i coralli dal Golfo Persico all'Indo-Pacifico per aiutare a diffondere i geni per la tolleranza al calore. E nel Midwest statunitense gli sforzi per ripristinare le praterie hanno mostrato quanto sia importante che i semi ripiantati vengano da una vasta gamma di habitat.

Aitken e Michael C. Whitlock, genetista di popolazioni del Dipartimento di zoologia dell'università, hanno coniato la frase «flusso genico assistito» in un articolo del 2013. Nel corso degli ultimi dieci anni ricercatori e conservazionisti hanno dibattuto intorno a un'idea di portata più ampia: la «migrazione assistita», che in generale si riferisce allo spostamento di specie su distanze maggiori, al di fuori dei loro areali naturali. Ma il flusso genico assistito all'interno dell'areale di una specie è un approccio più oculato e basato su un profondo rigore genetico. Da qui alla chiusura del progetto AdapTree, tra diversi anni, i ricercatori avranno raccol-

to informazioni di sequenze di DNA per 12.000 tra pini contorti e pecci provenienti da oltre 250 popolazioni sparse tra la British Columbia e l'Alberta.

Zone climatiche

Gli alberi sentono già gli effetti del clima che cambia. Negli anni settanta il governo della British Columbia produsse una mappa climatica della provincia, organizzandola in una serie di zone biogeoclimatiche. Quella mappa è stata la base della pianificazione forestale del Canada occidentale per quarant'anni, aiutando il governo a decidere dove si potessero piantare semi, e quali. Oggi però, a causa dei cambiamenti climatici, circa un quarto della mappa è obsoleto. Alcune zone si sono spostate e altre si sono ridotte drammaticamente. Le regioni ad alta quota e alcuni altipiani dell'interno hanno già perso circa metà del loro habitat, e potrebbero ridursi di oltre l'80 per cento da qui al 2100. I semi di alberi che un tempo sarebbero cresciuti rigogliosi in una certa area oggi potrebbero non essere nemmeno più in grado di crescere. Le zone possono trasformarsi in ecosistemi fondamentalmente diversi da ciò che c'era prima, anche se quanto cambiamento serva esattamente perché un ecosistema sia «fondamentalmente diverso» è poco chiaro e dibattuto.

Se una particolare popolazione può adattarsi al cambiamento dipende in parte da quanto in fretta si riproducono i suoi esemplari. Ogni nuova generazione rap-

presenta una nuova possibilità di acquisire nuovi caratteri utili. Quindi un coleottero dei pini, che si riproduce in fretta, ha una possibilità di adattarsi molto maggiore rispetto a un albero, che vive a lungo e impiega più tempo a riprodursi. Forse un insetto non vedrà alcun cambiamento nel corso della sua vita; un albero, invece, ha un posto in prima fila per il riscaldamento globale.

Un boschetto è molto più a rischio durante i suoi primi vent'anni di vita. Una volta che gli alberi sono stabilizzati diventano molto più resilienti, o «in grado di reggere per un bel po'», nelle parole di Brad St. Clair, ricercatore di genetica a Corvallis, in Oregon, per conto del Servizio forestale degli Stati Uniti. Ma in un'epoca di cambiamento climatico le condizioni locali possono cambiare considerevolmente durante quel cruciale ventennio.

«Se sposti qualcosa ad altitudini maggiori, in modo che si adatti ai climi del futuro – spiega St. Clair – quel qualcosa deve prima essere adatto alle difficoltà del freddo di oggi». In altre parole, se si spostano alberi adattati al caldo in una zona che secondo le proiezioni si scalderebbe in futuro, questi alberi potrebbero trovarsi in difficoltà nel breve termine perché la zona è ancora troppo fredda.

«Siamo alle prese con un bersaglio mobile», ammette Aitken. «Vogliamo trovare gli alberi giusti per il clima che ci sarà quando sono ancora piantine? Quando avranno dieci anni? O quando ne avranno trenta?». Un modo per gestire il rischio è incrementare la diversità – che può significare mescolare semi locali e non.

«Non bisogna fare la stessa cosa su ogni ettaro di terreno. Non si può progettare tutto intorno a una sola prospettiva di cambiamento climatico».

Il flusso genico assistito potrebbe essere un buon modo per rimpolpare la diversità genetica di una foresta, spolverando qua e là il suo pool genico con gli ingredienti che possono dare uno stimolo agli alberi. Con lo spostamento degli habitat, alcuni alberi potrebbero soffrire nel breve termine, ma altri avranno materiale genetico che permetterà alla foresta di sopportare tempi difficili. «Gli individui più adatti si riprodurranno di più – spiega Aitken – e con questo ci aspettiamo che le popolazioni riprendano a espandersi». La parte cruciale, dice, è mantenere sani abbastanza alberi perché si riproducano e sopravvivano durante il processo di adattamento.



Un approccio basato sul flusso genico presenta comunque dei rischi. Potrebbe per esempio aggiungere varianti genetiche locali che potrebbero ridurre la possibilità di sopravvivenza di una grossa fetta della popolazione. «Il rischio di introdurre alleli non desiderati esiste», dice Andrew Weeks, genetista dell'università di Melbourne. Ma, aggiunge, verosimilmente il problema si risolverebbe da sé. «È questo il bello della selezione naturale, che si sbarazzerebbe di queste varianti. Aumentando il pool genico, stai dando alla popolazione la migliore possibilità di un futuro».

Considerato che le foreste della British Columbia valgono 10 miliardi di dollari l'anno – oltre a dare servizi vitali come appunto prevenire le esondazioni e l'erosione del suolo – non fare niente potrebbe comportare un rischio ancora maggiore.



I semi del cambiamento. L'esperimento AdapTree raccoglie semi da diversi habitat (1). Le piantine di pino cresciute in serra (2) hanno forma variabile (3). Alcuni aghi sono saggiati con una sonda (la bacchetta nera) per vedere se resistono a temperature da congelamento (4).

Appassionata di escursionismo e di sci fuoripista e proprietaria di una capanna di tronchi nel cuore della British Columbia, Aitken spera che il suo lavoro possa aiutare a dare il via a politiche forestali più accorte. È convinta che se non cominciamo a praticare il flusso genico assistito le popolazioni arboree potrebbero iniziare a cedere agli estremi settentrionali o meridionali degli areali delle specie. «Gli alberi potrebbero durare molto a lungo, ma senza riprodursi. Sarebbero evolutivamente spacciati». Diventerebbero, dice, una «terra dei morti viventi». Quel che è peggio, monopolizzerebbero lo spazio e la luce solare di cui le piantine hanno un bisogno disperato. Verso il centro dell'areale le cose sarebbero leggermente meno tragiche. Ma gli alberi potrebbero comunque crescere più lentamente o fare fatica a sopravvivere. «Significa che le popolazioni di quelle zone finirebbero semplicemente per morire? Probabilmente no, spiega Aitken: «C'è una grande variabilità all'interno delle popolazioni. Le specie non finirebbero per estinguersi, ma immagino che per un bel po' di tempo ci si ritroverebbe con foreste dall'aspetto decisamente malsano». La scarsa salute danneggerebbe altre piante e animali perché gli alberi reggono interi ecosistemi, fornendo cibo e riparo, regolando il flusso d'acqua e prevenendo l'erosione del suolo.

In giro per il mondo, aggiunge Aitken, «è stata dedicata poca attenzione al movimento degli individui all'interno degli areali delle specie». I rischi ecologici sono più bassi rispetto al trapianto di alberi realmente alloctoni, perché questi stranieri non erano parte dell'ecosistema, anche se magari hanno qualche carattere desiderabile.

La provincia canadese ha già visto ciò che il riscaldamento globale può fare alle foreste. Dalla metà degli anni novanta, invasioni di coleotteri e incendi, entrambi legati all'incremento della temperatura, hanno distrutto centinaia di migliaia di ettari di foresta e bruciato centinaia di case. «Qui abbiamo avuto un bel po' di campanelli d'allarme, in termini di cambiamenti climatici», racconta Greg O'Neill, ricercatore del Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations della British Columbia. Insetti e incendi, dice, hanno reso gli abitanti della provincia «più che consapevoli dei cambiamenti climatici, e di come si tratti non di un concetto astratto che potrebbe diventare realtà nel futuro, ma di qualcosa che sta già avvenendo».

Le perdite hanno dato al governo provinciale una scossa che l'ha spinto all'azione. Nel 2009 la British Columbia ha cominciato a rivedere le proprie norme in materia di spostamento di sementi. Nello stesso anno O'Neill ha fatto partire un progetto pilota di migrazione assistita per le foreste della provincia, nella speranza di stabilire se, dove e come i forestali possano piantare specie completamente diverse dopo il taglio. In 48 siti sparsi per il Canada e gli Stati Uniti occidentali, dallo Yukon alla California, i ricercatori hanno piantato 15 specie arboree di importanza commerciale, spostandole dalla loro area natale e in alcuni casi trasferendole a migliaia di chilometri di distanza.

Questa migrazione estrema, spiega O'Neill, non è che uno strumento di ricerca, un modo per ricavare un quadro generale migliore di come se la passeranno gli alberi. Non vuole essere una guida per trasferimenti a lunga distanza. Eventuali modifiche

nei piani di piantagione saranno gradualmente. «Qualcosa tipo “non spostare gli alberi a un’altitudine minore” o “non spostarli verso sud”, spiega. In ogni sito c’è una stazione meteorologica, e lo studio mostra in che modo la crescita e la sopravvivenza delle piantine sono correlate alle condizioni locali. Quindi, conclude O’Neill, gli scienziati saranno in grado di prevedere la risposta degli alberi ai cambiamenti climatici.

L’analisi genetica di AdapTree offre un modo alternativo di prevedere in che modo reagiranno gli alberi. I ricercatori di questo vastissimo progetto hanno esaminato sequenze di DNA da milioni di punti del genoma dei pini contorti e di una specie di peccio, *Picea engelmanni*. Hanno sviluppato un metodo rapido di screening – simile a quello usato dalla società di screening genomico 23andMe



– che esamina circa 50.000 brevi segmenti di genoma, noti come polimorfismi a singolo nucleotide o SNP. Fatto questo, stanno ora «scavando a fondo», per citare Aitken, nel tentativo di centrare specificamente i polimorfismi che fanno corrispondere un albero alla sua area. I primi risultati su 600 degli alberelli del progetto AdapTree hanno trovato marcatori genetici che spiegano molte delle differenze nel modo in cui alberi di regioni diverse crescono e affrontano il freddo, il caldo e quantità diverse d’acqua.

La quantità di dati genetici grezzi di AdapTree è da capogiro. Se li stampassimo su entrambi i lati di un foglio A4, osserva Aitken, formerebbero una pila di circa 150 chilometri. E questa non è che una parte delle informazioni. Ora i ricercatori stanno studiando il funzionamento effettivo dei geni – come le istruzioni vengono eseguite – quando l’albero va incontro a stress come la siccità o le alte temperature.

Le foreste del futuro

Pochi gradi di latitudine più a sud, gli specialisti del Servizio forestale degli Stati Uniti stanno cominciando a valutare i pro e i contro del flusso genico assistito. «Siamo in una fase di grandi dialoghi e discussioni», dice St. Clair. Negli Stati Uniti, spesso i forestali spostano i semi all’interno di una zona per rispondere ai cambiamenti microclimatici, prestando poca attenzione alla direzione: per esempio se stanno spostando i semi da nord verso sud, cosa che potrebbe finire per causare più danni.

I forestali in generale riconoscono di avere ancora molto da imparare su come spostare i semi nel modo migliore. Fin da quando

abbiamo cominciato a piantare alberi, ne abbiamo trasportato i semi da una parte all’altra di fiumi, paesi, continenti, oceani. «Se si va indietro nel tempo, la gente tendeva a spostare i semi in continuazione, con molti insuccessi, perché non aveva idea di cosa stesse facendo», spiega Glenn Howe, genetista delle foreste per la Oregon State University. Anche per via di quei fallimenti, nel corso del tempo la comunità dei forestali ha sviluppato una certa avversione al rischio. Negli Stati Uniti occidentali la zonizzazione dei semi, che regola la distanza a cui questi possono essere trasportati per piantarli, è rigida e conservatrice. «Ha abbastanza senso quando il clima è statico – continua Howe – ma col cambiamento climatico un approccio molto conservativo potrebbe essere problematico».

La British Columbia è un passo avanti, ma restano molte sfi-



de. Al di là del problema scientifico ci sono problemi gestionali. La banca dei semi arborei della provincia, a gestione governativa, contiene semi per più di 6 miliardi di alberi; non si può rivoluzionare un inventario del genere dalla sera alla mattina. Così come non lo si può fare con il comportamento delle persone: i ricercatori dovranno riuscire a convincere i responsabili delle risorse a fidarsi dei dati genomici, una cosa che non possono osservare da sé in natura. È di importanza cruciale che tutti questi polimorfismi nucleotidici e i dati di sequenziamento «siano tradotti nel lessico dei forestali», dice Aitken.

Questo perché in ultima analisi tutti quei filamenti di DNA formano alberi vivi, autentici: creature da cui dipendiamo per costruire i nostri ambienti artificiali così come quelli naturali. Per prosperare in un mondo che cambia, alcuni di questi alberi potrebbero avere bisogno di espandersi in nuovi territori. E per farlo hanno bisogno del nostro aiuto. ■

PER APPROFONDIRE

Placing Forestry in the Assisted Migration Debate. Pedlar J.H. e altri, in «BioScience», Vol. 62, n. 9, pp. 835-842, settembre 2012.

Assisted Gene Flow to Facilitate Local Adaptation to Climate Change. Aitken S.N. e Whitlock M.C., in «Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics», Vol. 44, pp. 367-388, novembre 2013.

Evaluation of Demographic History and Neutral Parameterization on the Performance of FST Outlier Tests. Lotterhos K.E. e Whitlock M.C. in «Molecular Ecology», Vol. 23, n. 9, pp. 2178-2192, maggio 2014.

Progetto AdapTree: <http://adaptree.forestry.ubc.ca>.

La battaglia di Felice Ippolito

Lo scienziato napoletano fu uno dei principali esponenti di un blocco sociale che modernizzò l'Italia scontrandosi con forze conservatrici

di Pietro Greco

IN BREVE

Cent'anni fa nasceva Felice Ippolito, uno dei principali artefici dello sviluppo del nucleare in Italia tra gli anni cinquanta e gli anni sessanta. Per questo impegno, che era collegato con un acceso dibattito sulla nazionalizzazione dell'industria elettrica, Ippolito pagò con il carcere in base ad accuse infondate e pretestuose, alimentate dalla stampa.

Lo scienziato napoletano però non fu solo uno dei protagonisti del nucleare italiano, ma fu anche uno dei principali esponenti di un blocco sociale che in quegli anni modernizzava il paese portandolo a competere con successo nei settori di punta a scala planetaria.

L'arresto di Ippolito fu una delle prime sconfitte di questi modernizzatori, a tutto vantaggio di un altro blocco, costituito da forze conservatrici culturali, politiche ed economiche, che alla fine avrebbe avuto la meglio.

Fondatore. Felice Ippolito nel 1973, cinque anni prima aveva fondato «Le Scienze», edizione italiana di «Scientific American», che ha diretto fino a dicembre 1995.





Pietro Greco, giornalista e scrittore, è stato editorialista scientifico e ambientale di «L'Unità», è conduttore insieme ad altri di Radio3Scienza della RAI. È autore di numerosi libri, alcuni dei quali dedicati alla storia della scienza e della politica della ricerca.



Quando Felice Ippolito, il geologo napoletano Segretario generale del Consiglio nazionale per l'energia nucleare (CNEN), membro del Consiglio di amministrazione del giovane Ente nazionale per l'energia elettrica (ENEL) e noto anche al grande pubblico come il «Mattei atomico», membro di quel club intellettuale informale ma influente che ruota intorno alla rivista «Il Mondo» di Mario Panunzio, venne arrestato, la mattina del 3 marzo 1964, tradotto in carcere, condannato in primo grado il 29 ottobre 1964 a 11 anni e 4 mesi, poi ridotti a 5 anni e 3 mesi con sentenza della Corte d'Appello del 4 febbraio 1966, Edoardo Amaldi, l'artefice della ricostruzione della fisica italiana del dopoguerra, commentò: per l'Italia è «una sconfitta grave quanto lo fu Caporetto».

Un giudizio amaro, ma estremamente lucido. Dalla grave ma momentanea sconfitta personale, fondata su un cumulo di accuse non solo false ma anche inverosimili, Ippolito uscirà da trionfatore. Le accuse si riveleranno presto per quel che erano: infondate e pretestuose. Lui sarà graziato nel marzo 1968 dal suo stesso primo accusatore, Giuseppe Saragat, il leader socialdemocratico nel frattempo divenuto presidente della Repubblica. Immediatamente tornerà nell'agone culturale e politico. A settembre di quello stesso anno, il 1968, uscirà il primo numero di «Le Scienze», edizione italiana di «Scientific American», di cui sarà fondatore e a lungo direttore. Dieci anni dopo, nel 1979, entrerà nel Parlamento Europeo, eletto come indipendente nelle liste del Partito comunista italiano (PCI), per portare avanti, con Altiero Spinelli, la più ambiziosa e attuale delle sue idee politiche: la creazione di un'Europa realmente unita.

Ma, al contrario, da quella sua seconda Caporetto l'Italia non si è più ripresa. Perché l'arresto e la condanna del geologo napoletano sono stati tra le componenti principali di una rotta – tecnologica, economica e anche scientifica – consumatasi nel giro di pochi mesi in quei primi anni sessanta del XX secolo che è alla base dell'attuale declino del nostro paese.

L'incontro con l'uranio

Il ruolo che ha avuto Ippolito nella vicenda nucleare italiana è stato puntualmente ricostruito da Giovanni Paoloni, docente di archivistica generale alla «Sapienza» Università di Roma che si occupa di storia della politica scientifica e delle istituzioni di ricerca in Italia (si veda *Ippolito e il nucleare italiano*, in «Le Scienze» n. 440, aprile 2005).

Tuttavia Ippolito fu, insieme proprio ad Amaldi, uno dei generali in campo di una terribile battaglia (non del tutto incruenta) che si consumò nel secondo dopoguerra e che vide in campo forze – poche, ma determinate e soprattutto capaci – che volevano la modernizzazione del paese accettando la sfida della competizione tecnologica con il mondo più avanzato e le varieghe forze della conservazione economica e culturale che, con un atteggiamento che «The Economist» del 7 novembre 1964 definisce provinciale, rifiutavano quella scelta.

Ippolito nasce a Napoli il 15 novembre 1915, cent'anni fa, in una famiglia della colta borghesia partenopea. Suo padre, Girolamo, professore universitario, è un noto e bravo ingegnere idraulico. Dopo il liceo il giovane Felice, malgrado forti interessi per la storia, sceglie di studiare geologia. Ha per maestri, tra gli altri, il fisico Antonio Carrelli e il chimico Francesco Giordani, che gli conferiscono un certo *imprinting*. Il primo, Carrelli, nel 1937 è riuscito a portare a Napoli il giovane e già celebre Ettore Majorana nel tentativo di fare della città un centro di assoluta eccellenza della fisica quale componente importante dello sviluppo della metropoli partenopea e dell'intero Mezzogiorno. Sarà presidente della RAI tra il 1954 e il 1961, gli anni in cui nasce e si afferma quella grande innovazione tecnologica e culturale che è la televisione.

Il secondo, Giordani, che nel 1939 diventa presidente dell'IRI, il potente Istituto per la ricostruzione industriale, e nel 1940 presidente del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR), sostiene che solo il progresso scientifico e tecnologico può fare dell'Italia, Mezzogiorno compreso, un paese ricco e moderno. Nel 1952 Giordani sarà chiamato a dirigere il neonato Comitato nazionale per le ricerche nucleari (CNRN, poi CNEN) e, nel 1956, di nuovo il CNR. Avrà un ruolo decisivo nella vicenda nucleare italiana e nella vicenda professionale di Felice Ippolito.

Con quei due maestri e altri ancora, Ippolito si laurea nel 1938. Ma è già tempo di guerra, e non fa in tempo a indirizzarsi verso una carriera che si ritrova arruolato. È proprio Francesco Giordani a sottrarlo al fronte e a mandarlo in giro per l'Italia, insieme a un altro grande maestro, il geologo svizzero Alfred Rittmann, alla ricerca di giacimenti di carbone. Il giovane inizia così a familiarizzare con i problemi dell'energia. Intanto – la guerra non è ancora finita – lo troviamo ricercatore e docente nel 1944 presso l'Istituto di geologia applicata e giacimenti minerari dell'Università di Napoli.

L'incontro con l'uranio avviene pochi anni dopo, alla fine degli anni quaranta. Il conflitto è ormai finito, quando del più pesante degli elementi chimici presenti in natura, fonte di un nuovo tipo di energia, si fa ovunque un gran parlare, anche per via della pila atomica di Enrico Fermi (dicembre 1942), che ha dimostrato la possibilità di controllarla, e di quelle due bombe che hanno

Il nucleare italiano prima del «caso Ippolito»

La vicenda nucleare italiana si sviluppa in una serie di tappe, la prima delle quali è la nascita, il 16 novembre 1946, del Centro informazioni studi esperienze (CISE), un consorzio cui partecipano Edison, FIAT e Cogne, ma a cui ben presto si associano SADE e Montecatini. Più tardi, nel 1949, entrano Falck, Pirelli e Olivetti. Nel 1950, infine, aderisce Terni, un'industria pubblica del gruppo IRI. L'attività di ricerca è coordinata da un comitato scientifico presieduto da Giuseppe Bolla e di cui fanno parte, oltre ai rappresentanti delle industrie, i fisici «milanesi» Polvani, Salvini e Salvetti, e i fisici «romani» Amaldi, Bernardini e Ferretti. L'obiettivo è sviluppare un reattore interamente italiano. Il progetto stenta ad andare avanti per mancanza di fondi.

Il 26 giugno 1952 lo Stato interviene nella vi-

cenda nucleare con Alcide De Gasperi, che firma il decreto con cui istituisce il Comitato nazionale per le ricerche nucleari (CNRN). Presidente è Francesco Giordani, segretario Felice Ippolito. Il CNRN avrà una sua quota nel CISE.

A luglio 1955, grazie a Giordani, Italia e Stati Uniti firmano un accordo bilaterale per la cooperazione in campo nucleare. In base a questo accordo viene acquistato il reattore CP-5 per il Centro nucleare che il CISE costruirà a Ispra, in provincia di Varese. A ottobre Edison decide di dotarsi in proprio di una centrale nucleare, acquistandola negli Stati Uniti.

Il 12 luglio 1956 Giordani si dimette dalla presidenza del CNRN. Il comitato, su suggerimento del rappresentante del Ministero dell'Industria, delega il segretario generale, Ippolito, a prov-

vedere all'ordinaria amministrazione. Da questo momento in poi Ippolito diventa il leader indiscusso del comitato.

Nel 1957 Ippolito decide di realizzare come CNRN il centro di Ispra, rompendo i rapporti col CISE. Il centro di Ispra verrà poi donato all'EURATOM.

Nel 1960 nasce il Comitato nazionale per l'energia Nucleare (CNEN) che sostituisce il CNRN assumendone tutte le funzioni. Ippolito resta nella sua carica. Nel 1963 l'Italia vanta tre centrali nucleari in ciascuna delle tre diverse filiere tecnologiche esistenti all'epoca. Una è di Edison, un'altra dell'ENI e la terza dell'IRI. Il nostro paese è la terza potenza mondiale per produzione di energia elettrica da nucleare. Ad agosto scoppia il «caso Ippolito».

Esordio atomico italiano. La centrale nucleare costruita a Ispra, vicino Varese, nel 1959, anno in cui venne inaugurata.



ce ne possono essere. È qui che scatta quella *vis polemica* che è parte non secondaria del carattere di Ippolito. Il napoletano interviene nella discussione per sostenere, a ragione, la tesi contraria: l'Italia può partecipare alla partita nucleare perché anche nel nostro paese c'è uranio. E subito dopo si mette a cercarlo, quel prezioso elemento.

È a questo punto che incontra Amaldi. «Andai a chiedere alcuni strumenti – ricorda in un'intervista che Eleonora Puntillo ha riportato nel suo libro *Felice Ippolito, una vita per l'atomo*, del 1987 – per seguire le mie ricerche sull'uranio, a Edoardo Amaldi, allora ordinario di fisica a Roma. In lui, personalità molto forte, aperta, nacque un interesse molto vivo per i miei studi, al punto che ne parlò al professor Giuseppe Bolla, direttore del centro studi costituito dalle industrie elettriche private, il CISE».

Bolla ascolta il giovane Ippolito, e ne resta ammirato. Tanto da conferirgli l'incarico per tenere un corso di geologia dell'uranio, il primo in Italia, presso il corso di fisica applicata del Politecnico di Milano.

Ma è l'incontro con Amaldi quello che segna la vita di Ippolito. Perché i due, in maniera ora congiunta ora separata, ma sempre solidale, iniziano a intrecciare i tre fili – politica della ricerca, politica energetica, politica industriale – con cui «i modernizzatori» cercheranno di fare dell'Italia un paese tra i più avanzati, mettendo per almeno 15 anni straordinari successi, prima della tragica Caporetto.

Tre punti per la rinascita

Amaldi è l'unico rimasto in Italia dei cosiddetti «ragazzi di via Panisperna» che tra il 1934 e il 1938, sotto la guida di Enrico Fermi, hanno fatto di Roma la «capitale mondiale della fisica nucleare». Dopo quello che definisce il «disastro» provocato dal fascismo e dalla guerra fascista, che ha portato alla quasi totale diaspora dei suoi colleghi più eminenti e alla distruzione della fisica italiana, Amaldi diventa regista e artefice principale della «ricostruzione».

distrutto Hiroshima e Nagasaki, rispettivamente il 6 e il 9 agosto 1945, dimostrando che cosa può succedere quando si decide di non controllarla.

Ippolito è interessato all'uso pacifico e civile dell'energia nucleare, e sta seguendo il tentativo francese di trovare giacimenti di uranio, da molti considerato il combustibile del futuro, quando Antonio Cavinato, docente di giacimenti minerari presso il Politecnico di Torino, sostiene in pubblico che l'Italia è fuori dalla partita, perché di minerali dell'elemento fissile nel nostro paese non

Sodalizio culturale. Ippolito (al centro) in auto tra le forze dell'ordine, al momento del suo arresto, a Roma il 3 marzo 1964. A fronte, il fisico Edoardo Amaldi, il quale, come Ippolito e altri eminenti scienziati, era convinto che l'Italia dovesse basare il suo sviluppo sulla ricerca.



L'idea di Amaldi, abbinata a una capacità di realizzazione pratica davvero unica, è molto lucida e innovativa. Si articola in tre punti: fisica fondamentale, fisica applicata, sviluppo tecnologico del paese.

Per quanto riguarda il primo punto, Amaldi sostiene che i fisici italiani devono riunirsi intorno a pochi progetti comuni, e non operare in maniera frammentata nelle varie università. Questa idea, appoggiata da Giordani, porterà nel 1951 alla nascita dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN): un'organizzazione unica al mondo, che avrà parte non marginale nei successi scientifici della «via italiana alla fisica delle alte energie». Il centro principale nell'ambito della fisica sperimentale italiana, sostiene Amaldi, dovrà essere Roma, con la costruzione di un laboratorio nazionale (nascerà presto a Frascati). In realtà il «fanciulletto», come veniva chiamato a via Panisperna, pensa che la fisica italiana, unita, debba essere parte di un'organica fisica continentale, perché quella dell'Europa unita è ormai l'unica dimensione che mette in grado i fisici del Vecchio Continente di competere alla pari con i colleghi statunitensi. Da questo progetto il 15 febbraio 1952 nasce il Centro europeo per la ricerca nucleare (CERN): con sede a Ginevra, è la prima istituzione europea (il primo nucleo di un'Europa unita) creata dopo le lacerazioni della seconda guerra mondiale, e diventerà il più grande laboratorio di fisica al mondo. Il suo primo direttore generale è proprio Edoardo Amaldi.

Il secondo punto della politica della ricerca di Amaldi riguarda la fisica applicata. Il suo centro principale dovrà essere Milano. E il suo obiettivo lo sviluppo dell'energia nucleare: l'energia del futuro. L'Italia, pensa Amaldi, deve rendersi padrona dell'intero ci-

clo dell'uranio: dall'estrazione in miniera all'uso nei reattori per produrre energia, fino allo smaltimento dei rifiuti. I fisici hanno il compito di aprire la strada. È da questi presupposti che Amaldi partecipa da protagonista ai lavori del Centro informazione studi esperienze (CISE) già a partire dal 1946 e poi alla nascita, nel 1952 e nell'ambito del CNR, del Comitato nazionale per le ricerche nucleari, il cui presidente è Francesco Giordani e di cui è membro, in qualità di «esperto della geologia dell'uranio», Ippolito. Nella prima seduta del CNRN il geologo napoletano viene nominato, in virtù della sua giovane età, segretario del comitato. Il suo primo compito è burocratico: redigere i verbali. Ma Ippolito impareggerà presto a riempire di contenuti la sua carica. Anche nel caso del nucleare, Amaldi pensa che l'Italia debba entrare in un processo a scala continentale e partecipare in maniera attiva (come farà, anche grazie a Ippolito) all'EURATOM.

Il terzo punto del «progetto Amaldi» riguarda la politica industriale del paese. Il fisico immagina che l'Italia debba accettare la sfida delle tecnologie di punta. Prima fra tutte quelle che possono regalare al paese l'indipendenza energetica: le tecnologie nucleari. Dunque i fisici devono essere parte attiva di un progetto complessivo, che includa industria e politica, e che punti alla modernizzazione del paese.

Verso l'autonomia energetica

È proprio intorno a questi ultimi due punti, la fisica applicata e lo sviluppo dell'energia nucleare, che si salda l'amicizia personale e la collaborazione ideale e professionale con Ippolito. I due la pensano in maniera analoga, se non omologa. Ovviamente-



te il napoletano è interessato a tessere soprattutto i fili della politica energetica e della politica industriale dell'Italia. E dunque il suo pensiero è particolarmente centrato su questi argomenti.

L'analisi di Ippolito è semplice. L'Italia non è solo un paese arretrato che vuole e deve diventare un paese industriale avanzato, è anche un paese povero di risorse naturali. In particolare è povero di risorse energetiche. Per questo ha una forte dipendenza dall'estero. Ma la mancanza di autonomia energetica rende fragile la sua economia e debole la sua stessa indipendenza politica. Occorre dunque lavorare per conferire all'Italia la libertà energetica.

Per l'Italia – per la libertà energetica, economica e anche politica dell'Italia – il nucleare è una scelta obbligata. Soprattutto dopo che, nell'agosto 1955, sotto la spinta del presidente degli Stati Uniti, il generale Dwight Eisenhower, si è tenuta a Ginevra la grande conferenza *Atoms for peace* – 73 nazioni rappresentate, 1400 delegati, 3000 osservatori, 900 giornalisti – organizzata dalle Nazioni Unite per promuovere in tutto il mondo lo sviluppo dell'energia nucleare per scopi pacifici e civili.

Questa idea strategica dell'indipendenza energetica dell'Italia è la stessa che muove Enrico Mattei, alla ricerca prima con l'AGIP poi con l'ENI (Ente nazionale idrocarburi nato nel 1953) dell'autonomia italiana nel campo del petrolio e più in generale dei combustibili fossili.

L'analogia con la figura di Mattei non è una forzatura. I due, il segretario del CNRN e il presidente dell'ENI, si somigliano non poco. Innanzitutto entrambi pensano che l'energia è un campo da non lasciare ai privati, ma è un settore strategico che per molte ragioni deve essere controllato dallo Stato. E per questo moti-

vo – anche per questo motivo – entrambi sono piuttosto malvisti dai privati, in Italia e all'estero, che gestiscono il settore energetico. Inoltre c'è un'affinità di carattere. Messi alla corde, reagiscono da lucidi guasconi: rilanciando. Nel 1956, per esempio, il Comitato per l'energia nucleare di cui Ippolito è segretario si trova alle strette. Dopo l'iniziale armonia, c'è scontro con i privati del CISE e gli industriali elettrici. Uno scontro giunto all'acme, in cui il governo vuole intervenire tagliando i fondi al CNRN. Il progetto nucleare di Ippolito sta per fallire. «Rimasto solo – ricorda il geologo – ma sempre sostenuto da Amaldi [...], mi comportai alla maniera di Enrico Mattei. Invece di licenziare quel poco di personale e liquidare le poche attività, come speravano quelli del CISE e tutti gli industriali elettrici, io mi scatenai». Ippolito va da solo allo scontro con l'industria privata e con lo stesso esecutivo. Così: «Provocai una violentissima campagna di stampa contro il governo che faceva mancare i denari a un organismo scientifico statale e così facendo lasciava spazio alle industrie elettriche private». Ippolito, come Mattei, non è un don Chisciotte. Vince la partita e dimostra di che pasta è fatto.

Blocchi contrapposti

Le vicende contrastate del CNRN, poi Comitato nazionale per l'energia nucleare (CNEN), sono state, come abbiamo detto, documentate da Paoloni su «Le Scienze». E sono state vicende di straordinario successo. Tanto che nel 1963, appena 12 anni dopo la nascita del CNRN, grazie anche e forse soprattutto alla *leadership* di Ippolito, l'Italia con le sue tre centrali in attività è la terza produttrice mondiale di energia elettrica da fonte nucleare.

In tutto questo Ippolito ha un ruolo rilevante, forse decisivo. Ma non è solo. Non è isolato. Intanto ha dalla sua Amaldi e una gran parte della comunità scientifica nazionale: la parte più innovativa, quella che si confronta sulla scienza internazionale tutti i giorni e si fa carico di progettare il futuro del paese. Ha dalla sua anche gli intellettuali progressisti, a iniziare da quelli di «Il Mondo». Può contare su una parte non marginale del principale partito di governo, la Democrazia Cristiana; sui repubblicani di Ugo La Malfa; sui socialisti, e in particolare su Riccardo Lombardi, che stanno per aprire al centro-sinistra; sullo stesso PCI. Ma Ippolito non è solo anche e soprattutto perché è parte di un movimento, non organizzato ma reale, di persone e di gruppi culturali ed economici che cercano di fare – e per molti versi stanno facendo – dell'Italia un paese con una ricerca e un'industria all'avanguardia in molti settori di punta.

Di Mattei abbiamo già detto. Ma ce ne sono altri. Il chimico Giulio Natta, per esempio, che con i suoi studi sulla catalisi si guadagna un premio Nobel (assegnato nel 1963) e regala all'Italia il monopolio di una nuova materia plastica con caratteristiche innovative, il polipropilene isotattico, più noto al grande pubblico come moplén. C'è l'ingegnere Luigi Broglio, che nel 1964 manda in orbita San Marco I, il satellite che fa dell'Italia il terzo paese al mondo, dopo Stati Uniti e Unione Sovietica, a inviare un proprio oggetto nello spazio. Ci sono il chimico Alfonso Maria Liquori; il biologo Adriano Buzzati-Traverso, fondatore del Laboratorio internazionale di genetica e biofisica (LIGB) con cui l'Italia si candida a diventare un centro della nascente biologia molecolare, e il fisico Edoardo Caianiello, che ha creato il più importante centro di studi cibernetici di tutta l'Europa occidentale che cercano di trasformare Napoli in una «città della scienza» capace di imprimere la decisiva accelerazione allo sviluppo della città e del Mezzogiorno.

Ma conviene fermarsi su altri due esempi di gruppi innovatori, perché operano in due settori, informatica e biomedicina, che oggi – a sessant'anni di distanza dai fatti che narriamo – sono le industrie ad alta tecnologia più dinamiche.

Il primo gruppo di innovatori è quello che fa capo ad Adriano Olivetti che, collaborando tra gli altri con i fisici pisani guidati da Marcello Conversi, sta portando l'azienda di Ivrea ad assumere un ruolo di primo piano nella nascente industria informatica. L'ingegnere che dirige la divisione elettronica, l'italo-cinese Mario Tchou, ha messo a punto il primo computer a transistor al mondo. E più tardi un collaboratore di Tchou, Pier Giorgio Perotto, realizzerà a Ivrea un calcolatore elettronico così compatto da essere ribattezzato *personal computer*: è, ancora una volta, il primo al mondo. Insomma, con l'Olivetti l'Italia all'inizio degli anni sessanta del XX secolo si ritrova con ottime carte in mano per partecipare da protagonista a quella nuova onda di innovazione che caratterizza il nostro tempo: quella informatica.

L'altro esempio è l'Istituto superiore di Sanità (ISS), a Roma. Il suo direttore, Domenico Marotta, ne sta facendo un centro di ricerca biomedica e farmacologica di livello assoluto. Tanto che il biochimico tedesco naturalizzato inglese Ernst Boris Chain, che ha ottenuto il premio Nobel nel 1945 per i suoi studi sulla penicillina, si è trasferito a Roma, perché all'ISS trova condizioni di lavoro migliori che nel Regno Unito. E tutto sommato la stessa cosa ha fatto il biochimico svizzero Daniel Bovet, che nel 1947 si è trasferito a Roma e che nel 1957 ha ottenuto il premio Nobel per ricerche su composti farmacologici, tra cui sulfamidici e antistaminici. Insomma, l'ISS, che ha messo a punto un proprio centro di produzione della penicillina, è uno dei maggiori centri europei dove si studiano e si sviluppano al più alto livello nuove formule per uso medico. Studi importanti, che creano un ambiente favorevole per la crescita dell'industria farmaceutica italiana, ormai tra le prime al mondo.

Ebbene, tutte queste persone e altre ancora, in maniera certamente non organizzata, costituiscono tra gli anni cinquanta e l'inizio degli anni sessanta del secolo scorso una sorta di blocco sociale che sta davvero modernizzando il paese, portandolo a competere con successo tutti i giorni nei settori di punta a scala planetaria.

A questo blocco se ne contrappone un altro, costituito da una congerie di forze conservatrici culturali, politiche ed economiche che amano vivere in una condizione di chiusura – una dimensione provinciale, direbbe «The Economist» – protetta e alle spalle dello Stato. Per esempio gli stessi industriali che, nel CISE e fuori, sono impegnati nel nucleare, vogliono che sia lo Stato a finanziare la ricerca e siano loro a gestire e a guadagnare con la fase commerciale. Ippolito non ci sta. Lui vuole che l'intera filiera nucleare sia pubblica. Se i privati vogliono essere partecipi dei benefici dell'atomo civile, che corrano rischi e paghino di tasca propria.

Lo scontro sull'elettricità

La tensione, ora latente ora palese, tra modernizzatori e conservatori diventa scontro aperto nel momento in cui, con la nascita di una nuova alleanza politica tra DC e Partito socialista italiano nella prospettiva della formazione dei governi di centro-sinistra si inizia a parlare di nazionalizzazione dell'energia elettrica. Produzione e distribuzione di questa forma nobile di energia, dicono i modernizzatori, deve essere pubblica e gestita da un ente di Stato: l'Ente nazionale per l'energia elettrica (ENEL). Come è già avvenuto in Francia, con la nascita nel 1946 dell'Electricité de Fran-

Il ritorno di Ippolito

Felice Ippolito esce dal carcere, in libertà provvisoria, il 23 maggio 1966, dopo due anni, due mesi e 20 giorni di detenzione. La sua condanna ha suscitato clamore e proteste, anche all'estero. Gran parte degli osservatori è convinta che la sua pena sia stata del tutto ingiustificata. La comunità scientifica nazionale e internazionale lo considera vittima innocente di un complotto. Nel marzo 1968 il presidente della Repubblica, Giuseppe Saragat, il suo primo accusatore, gli concede la grazia.

È stato sollecitato da più parti. Tra i difensori di Ippolito figurano i socialisti Riccardo Lombardi e Pietro Nenni, il comunista già presidente della Costituente Umberto Terracini, il repubblicano Ugo La Malfa. Pare che La Malfa e Nenni abbiano posto come condizione per l'elezione di Saragat proprio la grazia a Ippolito. E, secondo la ricostruzione di La Malfa, pare che Saragat abbia acconsentito: «Ma sì...! Ippolito in effetti ha sofferto anche troppo per colpe che non ha commesso».

Con la grazia Ippolito riguadagna i suoi diritti civili, compresa la possibilità di insegnare all'università. Ritorna così alla sua cattedra a Napoli. Nel frattempo, in quel medesimo 1968, ha concordato con gli editori statunitensi di «Scientific American» la fondazione di «Le Scienze», che inizia le pubblicazioni nel mese di settembre. Ippolito ne assume la direzione, che terrà fino al 1995.

Tra il 1979 e il 1989 è membro del Parlamento Europeo, eletto come indipendente nelle liste del PCI. Sarà anche membro della Commissione grandi rischi della Protezione Civile e vicepresidente della Commissione scientifica nazionale dell'Antartide.

In tutti questi anni non smette di sostenere l'opzione nucleare e di denunciare le timidezze italiane sopravvenute dopo il suo caso. Pensa che l'Italia stia rinunciando ad ammodernarsi. Proverà grande amarezza quando nel 1987 gli italiani decidono, di fatto, con lo strumento del referendum, di uscire definitivamente dal nucleare dopo l'incidente di Chernobyl.

ce (EDF), e nel Regno Unito, con la nascita nel 1948 della British Electricity Authority (BEA).

A questo punto il livello sale ancora, e lo scontro diventa al calor bianco. Ippolito è alla testa di coloro che si battono per la nazionalizzazione e contro esorbitanti indennizzi ai privati espropriati. La leadership di Ippolito è riconosciuta, tanto che Lombardi non solo lo propone nel Consiglio d'amministrazione dell'ENEL, ma addirittura vuole che ne diventi il presidente. Una parte della DC si oppone, almeno alla seconda proposta. Cosicché quando ENEL finalmente nasce, nel 1962, Ippolito entra sì nel Consiglio di amministrazione, pur restando segretario del CNEN, ma non viene eletto presidente, e si trova addirittura in una condizione di minoranza. Ciò non toglie che continui a battersi contro i lauti indennizzi ai privati e affinché il nuovo ente sia culturalmente e non solo giuridicamente pubblico, dandosi un programma di sviluppo innovativo, anche e soprattutto nel campo nucleare.

È in questo clima che nell'agosto 1963 il leader socialdemocratico Giuseppe Saragat, che non si è mai occupato di energia, pubblica una serie di articoli in cui attacca la fonte nucleare e anche il segretario del CNEN. L'obiettivo è, probabilmente, ottenere la sua estromissione dall'ENEL. Ma quegli articoli sono l'inizio di una valanga che nel giro di pochi mesi porterà in carcere Ippolito e segnerà il tramonto della terza potenza nucleare del mondo.

Tuttavia, per quanto grave la parabola di Ippolito non è un ca-



In politica. Ippolito nel 1979 con Giorgio Amendola (al centro) ed Enrico Berlinguer (a sinistra), esponenti di spicco del partito comunista. Quell'anno Ippolito era stato eletto al Parlamento europeo come indipendente nelle liste del PCI, dove rimarrà fino al 1989.

so isolato. È solo una della lunga serie di sconfitte che si consuma in tempi brevissimi, meno di due anni: inizia nel 1962 con le prime accuse a Marotta; prosegue il 27 ottobre 1962 con l'attentato mortale a Enrico Mattei; poi ecco nell'agosto 1963 le prime accuse a Ippolito; il 3 marzo 1964 l'arresto del geologo napoletano; l'8 aprile 1964 l'arresto di Marotta (ai domiciliari) e del nuovo direttore dell'ISS, Giordano Giacomello. A maggio 1964, infine, un gruppo di interservizio coordinato da Mediobanca e comprendente FIAT, Pirelli, IMI e La Centrale entra in Olivetti e decide di vendere il 75 per cento della divisione elettronica («è un cancro da estirpare», dichiara Vittorio Valletta all'assemblea degli azionisti FIAT) alla statunitense General Electric. L'accordo si perfeziona in estate. Il 27 febbraio 1960 era morto, per cause naturali, Adriano Olivetti. Il 9 novembre 1961 era morto in un tragico incidente stradale Mario Tchou.

Sviluppo senza ricerca

In meno di due anni l'Italia ha subito due colpi seri in altrettanti settori strategici, l'autonomia energetica da combustibili fossili e la capacità creativa nell'ambito della farmaceutica, e due colpi addirittura mortali nell'ambito di altri due settori strategici, energia nucleare e informatica. Ma presto entrerà in crisi la stessa chimica fine. E persino Buzzati-Traverso, Liquori e Caianiello sono stati o saranno costretti ad abbandonare il «sogno napoletano».

In quei due anni la grande battaglia in campo aperto tra modernizzatori e conservatori si è definitivamente consumata con la chiara vittoria dei conservatori. Da questo momento in poi l'Italia imboccherà una strada di «sviluppo senza ricerca». La sua industria si ritaglia una nicchia nell'ambito delle tecnologie a bassa o al più a media tecnologia.

All'inizio il gioco funziona: grazie al basso costo relativo del lavoro e al ricorso sistematico alla «svalutazione competitiva» della lira. Ma si tratta di un'illusione momentanea. Quando, a iniziare dagli anni ottanta, lo scenario mondiale cambia, con la cosiddetta «nuova globalizzazione» e con la creazione di un sistema di cambi fissi tra le monete europee, preludio all'euro, l'Italia perde entrambe le leve della sua capacità competitiva ed entra in una fase di declino economico relativo che dura ancora oggi e che, da alcuni anni, è diventato declino assoluto.

Ecco perché quella combattuta con fierezza da Ippolito fu una delle battaglie più importanti nella storia della Repubblica Italiana. Ecco perché la sua sconfitta fu grave quanto quella di Caporetto. E forse più. ■

PER APPROFONDIRE

Felice Ippolito intellettuale e grand commis. Londero I., tesi di dottorato, Università di Trieste, anno accademico 2011/2012.

Il miracolo scippato. Pivato M., Donzelli, Roma, 2011.

L'Istituto nazionale di fisica nucleare. Storia di una comunità di ricerca. Battimelli G., De Maria M., Paoloni G., Laterza, Roma-Bari, 2001.

Una vita per l'atomo. Puntillo E. e Ippolito F., Edizioni Sintesi, Napoli, 1987.

La politica del CNEN 1960-1963. Ippolito F., Il Saggiatore, Milano, 1965.

Ippolito e il nucleare italiano. Paoloni G., in «Le Scienze» n. 440, aprile 2005.



M. Charles Liberman insegna otologia e laringologia alla Harvard Medical School e dirige gli Eaton-Peabody Laboratories presso il Massachusetts Eye and Ear Hospital. Liberman è specialista nello studio delle vie uditive che collegano l'orecchio interno al cervello.



NEUROSCIENZE

La perdita di UDITO nascosta

Martelli pneumatici, concerti e altre fonti comuni di rumore possono causare un danno irreparabile alle nostre orecchie in modi inaspettati

di M. Charles Liberman

Itifosi dei Seattle Seahawks e dei Kansas City Chiefs, due squadre di football americano, nelle partite giocate in casa fanno regolarmente a gara per conquistarsi un posto nel Guinness dei primati per lo stadio più rumoroso. Il 1° ottobre 2014 i Chiefs hanno toccato il picco più recente: 142,2 decibel (dB). Quel livello equivale al doloroso e irritante rumore di un jet a 30 metri di distanza, un tipico esempio che gli esperti di udito citano come un rumore abbastanza forte da causare un danno all'udito. Dopo la partita, i tifosi erano entusiasti. L'esperienza li aveva divertiti, percepivano un tintinnio nelle orecchie o avevano la sensazione che i loro timpani stessero per esplodere. Quello che però avveniva nelle loro orecchie non era meraviglioso.

Un test audiometrico, se effettuato prima e subito dopo la partita, avrebbe potuto mostrare un marcato deterioramento. Il suono più flebile che un tifoso poteva udire prima dell'inizio, per esempio parole sussurrate, poteva non essere più percepibile a metà partita. Le soglie uditive potevano essere aumentate addirittura di 20-30 decibel al fischio finale. Con la progressiva diminuzione del tintinnio durante i giorni successivi, il risultato del test uditivo – un audiogramma – sarebbe addirittura potuto tornare ai livelli di base, via via che la capacità di udire suoni flebili era ripristinata.

Per lungo tempo gli scienziati hanno pensato che, una volta tornate nella norma le soglie uditive, anche l'orecchio avrebbe dovuto fare lo stesso. Di recente con i miei colleghi abbiamo dimostrato che questa ipotesi non è vera. Anche esposizioni che portano solo a temporanei aumenti delle soglie uditive possono causare danni immediati e irreversibili alle fibre del nervo acustico che invia informazioni uditive al cervello. Un simile danno può anche non alterare la percezione dei toni, come emerge dall'audiogramma, tuttavia può ostacolare la capacità di elaborare segnali più complessi. Questa malattia riconosciuta da poco è chiamata «perdita di udito nascosta», perché un normale audiogramma può nascondere il danno al nervo acustico e la riduzione uditiva a esso associata.

Se una persona continua ad abusare delle proprie orecchie, il prezzo da pagare per le fibre nervose può aumentare. In effetti, questo danno può contribuire al graduale deterioramento della capacità delle persone di mezza età e anziane di distinguere i dettagli di un discorso. La perdita di udito nascosta però non si limita affatto alle persone anziane. Le ultime ricerche suggeriscono che questa perdita di udito sta emergendo anche in età più giovane nella società industrializzata, a causa della prolungata esposizione a suoni di intensità elevata, alcuni evitabili, altri no.

Una meraviglia sensoriale

La vulnerabilità dell'orecchio deriva da una stupefacente sensibilità, che permette di funzionare in una vasta gamma di livelli sonori. La nostra capacità di emettere un suono debole a una frequenza vicina a 1000 oscillazioni al secondo, o 1000 hertz (Hz), in altre parole la soglia a cui possiamo percepire quel suono, è definita come zero decibel (dB). Usando questa misura logaritmica, ogni aumento di 20 dB del livello sonoro corrisponde a un aumento di dieci volte nell'ampiezza delle onde sonore. A zero dB, gli ossicini dell'orecchio medio, le cui vibrazioni guidano il processo uditivo, hanno un'ampiezza di movimento inferiore al diametro di un atomo di idrogeno. All'estremo opposto, come il doloroso livello superiore a 140 dB ottenuto nella partita record dei Chiefs, l'orecchio è costretto a fare i conti con onde sonore la cui ampiezza è dieci milioni di volte superiore.

Il processo uditivo inizia quando l'orecchio esterno fa passare le onde sonore nel condotto uditivo fino al timpano, che vibra e mette in movimento gli ossicini dell'orecchio medio. Le vibrazioni che ne derivano attraversano il condotto uditivo dell'orecchio interno pieno di liquido, la coclea, sede delle cellule ciliate che occupano una striscia spiraleiforme di tessuto chiamata organo del Corti. Queste cellule prendono il nome da filamenti capelliformi detti stereociglia, che si allungano in fasci da un'estremità cellulare. Le cellule ciliate più sensibili alle basse frequenze si trovano a un estremo della spirale cocleare, mentre quelle più sensibili alle alte frequenze si trovano all'altro estremo. Quando le onde sonore piegano i filamenti, queste cellule convertono le vibrazioni in segnali chimici liberando una molecola che agisce come neurotrasmettitore, il glutammato, all'altra estremità, dove le cellule ciliate formano sinapsi con le fibre del nervo uditivo.

A livello di sinapsi, il glutammato attraversa una stretta fessura per legarsi a recettori alla fine, o terminali, di una fibra nervosa uditiva. Ogni terminale si trova a un estremo di una cellula nervosa che estende una lunga fibra, un assone, verso l'altra sua estremità nel tronco encefalico. Il glutammato legato alle fibre nervose innesca un segnale elettrico che viaggia per tutto il nervo uditivo fino al tronco encefalico. Da qui, i segnali si spostano lungo una serie di circuiti neurali paralleli che attraversano diverse regioni - dal tronco encefalico fino a mesencefalo e talamo - e terminano il proprio viaggio nella corteccia uditiva. Nel complesso, questa articolata circuiteria analizza e organizza il nostro ambiente acustico in un insieme di suoni riconoscibili, che si tratti di una melodia familiare o di una sirena.

Le cellule ciliate sono di due tipi, quelle interne e quelle esterne. Le cellule ciliate esterne amplificano i movimenti indotti dal suono nell'orecchio interno. Le cellule ciliate interne traducono questi movimenti nei segnali chimici che eccitano il nervo uditivo. Le cellule interne sono le più dirette responsabili di quello che definiamo «udito», perché il 95 per cento delle fibre nervose uditive forma sinapsi solo con le cellule ciliate interne. Perché così poche

fibre colleghino le cellule ciliate esterne al cervello è ancora un mistero, ma si ipotizza che le fibre connesse a queste cellule possano essere responsabili del dolore che percepiamo quando l'intensità acustica di un'onda sonora si avvicina a 140 dB.

Storicamente, la perdita dell'udito è stata accertata soprattutto con audiogrammi. Gli otorini sanno da tempo che gli operai che martellavano fogli di metallo per ottenerne caldaie soffrivano spesso di una perdita permanente nella percezione dei toni alle frequenze medie. Gli audiogrammi registrano la capacità di distinguere toni a intervalli di frequenza di un'ottava: per esempio 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz. Nelle fasi iniziali della perdita dell'udito indotta da rumore, l'audiogramma mostra un avvallamento caratteristico per quegli operai, un'incapacità di percepire i suoni alle frequenze medie dello spettro uditivo umano.

Negli anni cinquanta e sessanta studi epidemiologici su operai in fabbriche rumorose hanno mostrato una correlazione fra durata dell'impiego e declino dell'acuità uditiva. Con il tempo, il deficit iniziale che riguardava frequenze prossime ai 4000 Hz tendeva a estendersi anche ad altre frequenze. Molti operai più anziani hanno perduto l'udito a frequenze superiori a 1000 o 2000 Hz. Questa

perdita di toni alti provoca un grave deficit uditivo perché gran parte delle informazioni che riceviamo durante una conversazione si trovano nello spettro di frequenze che è diventato insensibile.

Negli anni settanta, studi del genere hanno spinto il governo statunitense a stilare linee guida sul rumore per limitare l'esposizione sul posto di lavoro. Oggi diverse agenzie disciplinano i livelli di rumore e suggeriscono limiti differenti. La mancanza di un accordo preciso riflette le sfide che derivano dal valutare il rischio di danno da rumore. I problemi sono duplici. Ci sono enormi differenze individuali nella suscettibilità al rumore: ci sono quelle che potremmo descrivere come orecchie «forti» e orecchie «delicate». Ciò significa che le

autorità regolatorie devono decidere quale percentuale della popolazione intendono proteggere e qual è il livello accettabile di perdita di udito. L'altro problema è che gli effetti del rumore sull'udito derivano da una combinazione complessa di durata, intensità e frequenza dei suoni a cui una persona è esposta.

Attualmente la statunitense Occupational Safety & Health Administration (OSHA) stabilisce che i livelli di rumore non debbano eccedere i 90 dB per giornata lavorativa di otto ore. Il rischio di danno all'udito sopra i 90 dB è circa proporzionale all'energia totale veicolata all'orecchio (il prodotto della durata per l'intensità). Per ogni 5 dB in più sopra le otto ore standard, le linee guida dell'OSHA raccomandano di dimezzare l'esposizione: in altre parole, un lavoratore non dovrebbe essere esposto a 95 dB per più di quattro ore al giorno, o a 100 dB per più di due ore al giorno. Sulla base di questi livelli, l'esposizione superiore a 142 dB dei tifosi che gareggiano per il Guinness del rumore supererebbe le linee guida dell'OSHA in circa 15 secondi. Naturalmente, l'OSHA non indica normative sui livelli di rumore dei tifosi alle partite.

La vulnerabilità dell'orecchio deriva da una sensibilità che permette di funzionare in un'ampia gamma di livelli sonori

IN BREVE

È opinione comune che rumori forti ovattino le orecchie o provochino tintinnio, ma che le orecchie recuperino presto la loro funzionalità.

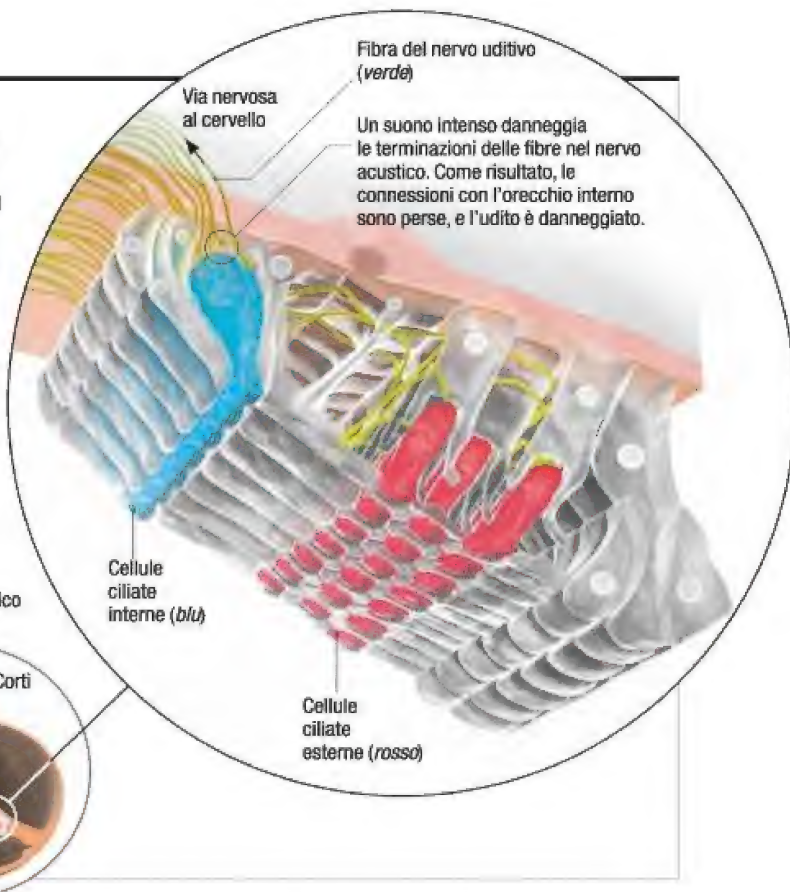
Livelli elevati di rumore possono causare un danno permanente alle fibre del nervo acustico che trasmettono il suono fino al cervello.

La perdita di udito nascosta che ne deriva può far sì che qualcuno senta i suoni senza capire che cosa dice chi parla.

Un farmaco che permetta alle fibre nervose di recuperare la funzionalità potrebbe essere una soluzione a questo problema diffuso.

Conseguenze del big bang

Quando le onde sonore viaggiano attraverso il condotto uditivo, passato il timpano, raggiungono l'orecchio interno. Lì, nell'organo del Corti, le vibrazioni indotte dal suono stimolano le cellule ciliate esterne (*riquadra*). Queste vibrazioni, amplificate dalle cellule ciliate esterne, sono poi rilevate dalle cellule ciliate interne che le traducono in segnali chimici da inviare alle fibre del nervo acustico. È noto da tempo che un danno alle cellule ciliate provoca perdita di udito. Ma è noto che anche le fibre possono essere danneggiate da suoni forti, causando perdita di udito anche quando le cellule ciliate rimangono intatte.



Negli ultimi sessant'anni gli specialisti dell'udito hanno ritenuto che la lettura di un audiogramma rivelasse tutto quello che c'è da sapere sul danno all'udito indotto da rumore. In effetti, l'audiogramma rivela la presenza di un danno alle cellule ciliate dell'orecchio interno, e ricerche effettuate negli anni quaranta e cinquanta avevano dimostrato che quelle ciliate erano tra le cellule più vulnerabili nell'orecchio interno a sovraesposizioni acustiche.

Esperimenti sugli animali, alcuni dei quali condotti nel nostro laboratorio, hanno dimostrato che le cellule ciliate esterne sono più vulnerabili di quelle interne, e che le ciliate della sezione della colea che rileva toni ad alta frequenza sono più vulnerabili di quelle nella regione a bassa frequenza. È emerso anche che, una volta danneggiate, le ciliate non si rigenerano più. Addirittura, prima che le cellule degenerino un rumore intenso può danneggiare i fasci di stereociglia in cima alle cellule, e anche questo danno è irreversibile. Quando le cellule ciliate sono danneggiate o muoiono, le soglie uditive aumentano: bisogna alzare il volume della radio o un collega all'altro lato del tavolo deve alzare la voce.

Studi più incisivi sul danno cocleare nell'essere umano sono stati ostacolati dal fatto che le cellule ciliate non possono essere oggetto di biopsia in modo sicuro e nemmeno di *imaging in vivo* con le tecniche attuali. Nell'essere umano, il danno associato alla perdita di udito indotta da rumore è stato studiato solo in persone che hanno donato le orecchie alla scienza alla loro morte.

Anche a causa di questi limiti, se la perdita di udito sia inevitabile durante l'invecchiamento o se sia una conseguenza dell'esposizione al rumore della vita moderna, continua a essere un enigma per gli scienziati che studiano l'udito. Un indizio interessante è emerso da uno studio degli anni sessanta in cui i ricercatori hanno testato gruppi di persone residenti in ambienti eccezionalmente tranquilli, come la tribù dei Maba, nel deserto del Sudan. Il test dell'udito è risultato assai migliore negli uomini della tribù di età

compresa fra i 70 e i 79 anni, rispetto a un gruppo di statunitensi della stessa età. Naturalmente, questi studi non possono distinguere altre differenze fra uno statunitense tipico e il tipico uomo Maba, come quelle correlate alla genetica o all'alimentazione.

Danno profondo

Studi recenti miei e di colleghi riguardo agli effetti del rumore sull'udito hanno aggiunto una nuova dimensione alla comprensione dei danni della sovraesposizione acustica. Da tempo scienziati e clinici sanno che la riduzione dell'udito da esposizione al rumore è reversibile solo in parte. In altre parole, a volte le soglie uditive tornano alla normalità in qualche ora o in qualche giorno, dopo un'esposizione; altre volte il recupero è incompleto e la soglia più elevata rimane per sempre. Un tempo gli scienziati dell'udito credevano che recuperando la soglia di sensibilità l'orecchio avrebbe recuperato del tutto. Oggi sappiamo che non è vero.

Il boato della folla a una partita di football non solo influisce sulle cellule ciliate, ma danneggia anche le fibre del nervo uditivo. Negli anni ottanta io e altri colleghi abbiamo mostrato che un rumore troppo forte danneggia le terminazioni delle fibre nervose nel punto in cui formano sinapsi con le cellule ciliate. Rigonfiamento e rottura finale delle terminazioni si verificano probabilmente in risposta a un eccessivo rilascio del neurotrasmettitore glutammato da parte delle cellule ciliate troppo stimolate. In effetti, un rilascio eccessivo di glutammato in qualsiasi parte del sistema nervoso è tossico. Era opinione comune che queste fibre danneggiate dal rumore dovessero recuperare o rigenerarsi dopo un'esposizione a rumore intenso perché le soglie uditive possono tornare normali in orecchie che mostravano un consistente gonfiore del nervo immediatamente dopo l'esposizione.

Nel mio laboratorio eravamo scettici sul fatto che queste sinapsi pesantemente danneggiate potessero rigenerarsi nell'orec-

chio adulto. Sapevamo anche che il danno nervoso indotto da rumore non si sarebbe necessariamente riflettuto nei test usati abitualmente, perché studi degli anni cinquanta su animali avevano dimostrato che la perdita di fibre del nervo uditivo, non accompagnata da perdita di cellule ciliate, non incide sulla qualità dell'audiogramma fino a quando la perdita non diventa catastrofica, superiore all'80 per cento. Sembra che non sia necessaria una gran quantità di fibre nervose per rilevare una nota all'interno di una cabina silente. Per analogia, prendiamo l'immagine digitale di un gruppo di persone e riproduciamola ripetutamente, ogni volta a una risoluzione minore. Riducendo la densità di pixel, i dettagli dell'immagine diventano meno chiari. Possiamo ancora dire che ci sono persone nella foto, ma non ne riconosciamo l'identità. Allo stesso modo, abbiamo ipotizzato, una diffusa perdita di neuroni non deve necessariamente danneggiare la capacità di individuare un rumore, ma potrebbe alterare la comprensione di un discorso in un ristorante rumoroso.

Negli anni ottanta, quando abbiamo iniziato a studiare il danno nervoso indotto da rumore, l'unico modo per contare le sinapsi fra fibre nervose uditive e le cellule ciliate interne sfruttava una tecnica di microscopia, un procedimento laborioso che richiede quasi un anno di lavoro per analizzare le sinapsi nervose su un ridotto numero di cellule ciliate di una coclea.

Venticinque anni dopo, con Sharon G. Kujawa del Massachusetts Eye and Ear, cercavamo di determinare se un episodio di sovrastimolazione acustica su orecchie di giovani topi accelerava l'insorgenza di perdita di udito legata all'invecchiamento. Il rumore a cui esponevamo gli animali era pensato per produrre solo un aumento temporaneo delle soglie uditive, dunque nessun danno permanente alla cellule ciliate. Come ci aspettavamo, le coclee dei roditori avevano un aspetto normale pochi giorni dopo l'esposizione. Ma quando abbiamo osservato gli animali in un arco di tempo che andava da sei mesi a due anni dopo l'esperimento, abbiamo notato una massiccia perdita di fibre nervose uditive, nonostante ci fossero cellule ciliate intatte.

Per fortuna dagli anni ottanta abbiamo imparato molto su come studiare la struttura molecolare di queste sinapsi. Sono diventati disponibili anticorpi che si legano, ed etichettano, a diversi marcatori fluorescenti, strutture su entrambi i lati della sinapsi fra cellule ciliate interne e fibra del

In studi effettuati su diverse specie animali abbiamo indotto un danno nervoso irreversibile nell'orecchio con un'esposizione per due ore di fila a un rumore compreso fra 100 e 104 dB. Ci sono tutte le ragioni per credere che l'orecchio umano sia altrettanto sensibile. La maggior parte delle esposizioni quotidiane che caratterizzano la nostra vita non dura così a lungo. Tuttavia, è prudente evitare un'esposizione non protetta a qualsiasi rumore che superi i 100 dB.

Molti rumori nella vita quotidiana ci collocano in una zona di pericolo. Nelle sale da concerto e nei locali si producono abitualmente picchi di 115 dB, e livelli medi che superano i 105 dB. A livello dell'orecchio dell'utente, gli aspirafoglie a motore a scoppio e le falciatrici raggiungono livelli compresi fra 95 e 105 dB, come le seghe circolari a motore. Ma anche la frequenza del suono ha importanza. A parità di decibel, il gemito acuto di una levigatrice a nastro è più pericoloso del rombo meno acuto di una motocicletta smarmittata. I martelli pneumatici producono livelli di 120 dB anche per i passanti, e i rapidi colpi prodotti dalla punta metallica che incide l'asfalto producono una gran quantità di rumori acuti pericolosi.

Che cosa possiamo fare? Oggi quasi tutti hanno accesso a misuratori accurati di livelli sonori da tenere in tasca o nel portafoglio. Ci sono innumerevoli app gratuite o a poco prezzo per smartphone con sistemi operativi come iOS o Android, che forniscono letture attendibili della pressione sonora prodotta da uno strumento musicale o da un'automobile la cui marmitta emette un ritorno di fiamma fino a 1-2 dB rispetto al più costoso equipaggiamento professionale per monitorare il suono. L'app per iOS che mi è stata più utile, Sound Level Meter Pro, costa meno di 20 dollari e ha fornito letture nel mio laboratorio con un'accuratezza prossima a 0,1 dB.

Una volta consapevoli dei rumori potenzialmente pericolosi nell'ambiente in cui viviamo, c'è una buona notizia: c'è una protezione acustica efficace, poco costosa, facile da usare e da trasportare. Se inseriti adeguatamente, i tappi per le orecchie in schiuma possono attenuare il livello sonoro di 30 dB alle frequenze più pericolose. Arrotolatene uno fra le dita e trasformatelo in un cilindro più sottile che potete, poi inseritelo rapidamente più profondamente possibile nel vostro condotto uditivo. Non è più difficile né più pericoloso che mettersi gli auricolari per il telefonino. Lasciate che



i tappi si espandano lentamente e nel giro di un minuto siete pronti per fare baldoria.

Se siete a un concerto, questi tappi di schiuma smorzano un po' troppo il suono. Quando invece volete sentire il suono ma a un livello appena inferiore (sicuro), usate i tappi da musicista. On line sono disponibili diversi modelli per 10-15 dollari al paio. Sono ideati in modo da fornire un'attenuazione del suono di 10-20 dB, con un'identica capacità di smorzare picchi sonori acuti e bassi, in modo da non incidere sul timbro della musica.

Più importante ancora, fate attenzione a quello che le vostre orecchie vi dicono. Se avete appena lasciato un evento o concluso un'attività, e avete la sensazione di avere le orecchie ovattate, o se le sentite tintinnare, ci sono buone probabilità che abbiate distrutto alcune sinapsi del nervo uditivo. Non disperatevi, ma cercate di non rifarlo.

nervo uditivo. Le etichette hanno permesso di contare facilmente le sinapsi con la luce del microscopio. Così abbiamo accumulato dati che mostravano che pochi giorni dopo l'esposizione al rumore, quando la soglia uditiva era tornata normale, la metà delle sinapsi del nervo acustico era danneggiata e non si sarebbe più rigenerata. La perdita del resto dei neuroni – corpi cellulari e assoni che si proiettano al tronco encefalico – diventavano evidenti in pochi mesi. Dopo due anni, metà dei neuroni uditivi era scomparsa. Non appena le sinapsi erano distrutte, le fibre collegate diventavano inutili e non rispondevano a suoni di alcuna intensità.

Negli ultimi anni abbiamo documentato la degenerazione delle sinapsi indotta dal rumore in topi, porcellini d'India e cincillà, ma anche in tessuti umani *post mortem*. Abbiamo dimostrato con studi animali e nell'orecchio umano che la perdita di connessioni fra fibre del nervo uditivo e le cellule ciliate si verifica prima dell'innalzamento delle soglie associato con la perdita di cellule ciliate. L'idea che il danno al nervo uditivo provochi una perdita di udito nascosta – una componente importante della riduzione uditiva causata da rumore e correlata all'età – è oggi accettata, e molti scienziati e clinici sono all'opera per sviluppare test in grado di determinare se il problema sia diffuso e se il nostro stile di vita rumoroso stia portando a un'epidemia di danno uditivo nelle persone di ogni età.

Risanare i nervi

In termini semplici, l'audiogramma, il test dell'udito che rappresenta il test standard di riferimento, misura le soglie uditive ed è una spia sensibile di danno alle cellule ciliate della coclea. Ma questo test è un indicatore scadente di danno alle fibre nervose uditive. Le nostre ricerche hanno dimostrato che il danno nervoso che si verifica nella perdita di udito nascosta non incide sulla capacità di rilevare un rumore, ma più probabilmente peggiora la nostra capacità di capire un discorso e altri suoni complessi. In effetti, potrebbe dare un significativo contributo alla classica lamentela delle persone anziane: «Riesco a sentire le persone che parlano ma non capisco cosa dicono».

Gli audiologi sanno da tempo che due persone con un audiogramma simile possono dare risultati molto diversi nei test che misurano il numero di parole identificate quando il livello di un rumore di fondo aumenta. In precedenza, gli audiologi attribuivano queste differenze all'elaborazione del cervello. Le nostre ricerche suggeriscono che gran parte di esse emerge a causa di differenze nella popolazione di fibre nervose uditive sopravvissute.

La perdita di udito nascosta potrebbe anche aiutare a spiegare altre lamentele comuni, inclusi acufeni (tintinnio nelle orecchie) e iperacusia (l'incapacità di tollerare anche suoni di moderata intensità acustica). Questi disturbi spesso sono presenti anche quando un audiogramma non mostra problemi. In passato, scienziati e medici sottolineavano il normale audiogramma di soggetti con acufene o iperacusia concludendo, ancora una volta, che il problema doveva risiedere nel cervello. Noi, invece, suggeriamo che il danno possa essersi verificato nel nervo uditivo.

Le nostre ricerche sollevano domande sul rischio di esposizione abituale a musica elevata, ai concerti o nei locali, e alla musica ascoltata in cuffia. Sebbene la perdita di udito indotta da rumore sia un problema che interessa i musicisti professionisti, anche quelli di musica classica, studi epidemiologici effettuati su ascoltatori casuali hanno fallito nel trovare un impatto significativo sui

relativi audiogrammi. Le linee guida statunitensi stilate per minimizzare il danno da rumore tra i lavoratori si basano sull'ipotesi per cui se le soglie post-esposizione tornano alla normalità, l'orecchio ha recuperato le proprie capacità. Come abbiamo visto, questa ipotesi è errata: ne consegue che le normative attuali sul rumore possono essere inadeguate a impedire un diffuso danno nervoso indotto da rumore e la conseguente riduzione uditiva.

Per affrontare il problema, abbiamo bisogno di test diagnostici migliori per individuare il danno al nervo uditivo, senza contare le sinapsi in campioni autoptici. Un approccio promettente si basa sulla misurazione dell'attività elettrica nei neuroni uditivi, chiamata potenziali evocati acustici del tronco encefalico (o ABR da *auditory brain stem response*). I potenziali ABR si possono misurare in un soggetto sveglio o in sonno, sul cui cranio ci sono elettrodi che misurano l'attività elettrica (elettroencefalografia) generata in risposta a stimoli sonori in serie (*tone burst*) di frequenza diversa e diversi livelli di pressione sonora. Storicamente, il test ABR è stato interpretato in modo che una risposta elettrica evocata da un suono è interpretata come udito normale, l'assenza di una risposta è segno di danno.

In studi su animali, abbiamo dimostrato che l'ampiezza dell'ABR a livelli sonori elevati fornisce informazioni: aumenta in proporzione al numero di fibre nervose uditive che mantengono una connessione vitale con cellule ciliate interne. In modo analogo, uno studio ispirato dalle nostre ricerche ha usato una variante del test ABR su studenti inglesi che avevano un audiogramma normale, trovando ampiezze inferiori nella risposta nei soggetti che riferivano di una ripetuta esposizione al frastuono di locali e concerti.

Nella ricerca di potenziali terapie per la perdita di udito nascosta, ora ci chiediamo se sia possibile invertire la degenerazione indotta da rumore trattando i neuroni sopravvissuti con farmaci ideati per far ricrescere le fibre nervose, ristabilendo le connessioni con le cellule ciliate interne. Sebbene le stesse sinapsi siano distrutte subito dopo l'esposizione al rumore, la lentezza con cui il resto del nervo (del suo corpo cellulare e degli assoni) degenera ci fa ben sperare sul fatto che una normale funzione possa essere ripristinata in molti pazienti. Abbiamo ottenuto risultati incoraggianti su modelli animali somministrando neurotrofine (proteine che proteggono i neuroni) nell'orecchio interno.

La perdita di udito nascosta potrebbe essere presto curata con iniezioni attraverso il timpano di gel che libera lentamente neurotrofine per ricostituire le sinapsi mesi o anni dopo un danno. I gel sarebbero iniettati subito dopo l'esposizione a un rumore intenso. Un otorino potrebbe un giorno somministrare farmaci alla coclea servendosi di trattamenti minimamente invasivi per curare un danno acustico, con la stessa facilità con cui un oculista corregge un occhio miope con la chirurgia laser della cornea. ■

La perdita di udito nascosta potrebbe essere presto curata con iniezioni attraverso il timpano di gel che libera lentamente neurotrofine per ricostituire le sinapsi mesi o anni dopo un danno. I gel sarebbero iniettati subito dopo l'esposizione a un rumore intenso. Un otorino potrebbe un giorno somministrare farmaci alla coclea servendosi di trattamenti minimamente invasivi per curare un danno acustico, con la stessa facilità con cui un oculista corregge un occhio miope con la chirurgia laser della cornea. ■

PER APPROFONDIRE

Adding Insult to Injury: Cochlear Nerve Degeneration after "Temporary" Noise-Induced Hearing Loss. Kujawa S.G. e Liberman M.C., in «Journal of Neuroscience», Vol. 29, n. 45, pp. 14.077-14.085, 11 novembre 2009.

Synaptopathy in the Noise-Exposed and Aging Cochlea: Primary Neural Degeneration in Acquired Sensorineural Hearing Loss. Kujawa S.G. e Liberman M.C., in «Hearing Research», pubblicato on line 11 marzo 2015.

Riacquistare l'equilibrio con un orecchio bionico. Della Santina C.C., in «Le Scienze» n. 502, giugno 2010.



I test nella scuola: una nuova visione

Troppo spesso test di valutazione ed esami scolastici provocano ansia e ostacolano l'apprendimento. Nuove ricerche indicano come invertire la tendenza

di Annie Murphy Paul

IN BREVE

Fin dall'approvazione del No Child Left Behind Act, nel 2002, negli Stati Uniti è cresciuta l'opposizione di genitori e insegnanti al mandato di sottoporre «ogni bambino, ogni anno» a test dal terzo all'ottavo grado della scuola dell'obbligo.

Secondo i critici, queste valutazioni in cui la posta in gioco è alta mettono in ansia studenti e insegnanti, e fanno delle aule scolastiche fabbriche di preparazione ai test invece che laboratori di apprendimento.

Le ricerche di psicologi ed esperti di scienze cognitive mostrano che i test scolastici, fatti bene, possono essere un modo efficace per imparare. Con i test si può arrivare a ricordare meglio i fatti e capire più a fondo le materie, rispetto a un

modello di istruzione privo di esami. **I test oggi in preparazione** per valutare la preparazione degli studenti rispetto a nuovi criteri sembrano promettenti per la valutazione dell'apprendimento profondo.

Annie Murphy Paul collabora con «The New York Times» e «Time», e con la rivista on line «Slate». Ha scritto *19 mesi decisivi: la buona salute si costruisce in gravidanza*, (Tecniche Nuove, 2012), incluso nella lista dei 100 libri considerevoli del 2011 stilata dal «New York Times». Il suo nuovo libro, in uscita presso l'editrice Crown, si intitola *Brilliant: The Science of How We Get Smarter*.



Chi è stato il primo americano in orbita attorno alla Terra?

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| A Neil Armstrong | B Yuri Gagarin |
| C John Glenn | D Nikita Kruscev |

In tutti gli Stati Uniti, domande a scelta multipla come queste agitano o addirittura spaventano gli studenti. Quando arrivano, vuol dire che siamo agli esami; e gli esami sono una cosa grande, importante e tremendamente spiacevole.

Ma non alla Columbia Middle School dell'Illinois, nella classe di ottavo grado [l'equivalente della terza media in Italia, N.d.R.] dove Patrice Bain insegna storia. La donna – vivaci occhi azzurri, sorriso facile e ispidi ricci biondi – presenta la domanda sulla lavagna interattiva e poi dà agli allievi il tempo di inserire le risposte, usando dispositivi numerati che somigliano a un telecomando semplificato e si chiamano clicker.

«Ok – chiede Bain – avete risposto tutti? Numero 19, stiamo aspettando te!». Il 19 si sbriga, e professoressa e studenti insieme osservano le risposte della classe, che ora sono presentate in fondo alla lavagna interattiva. «La maggior parte di voi ci ha preso – John Glenn – molto bene». Ridacchia e scuote la testa alle risposte inserite da tre dei suoi studenti. «Oh no, ragazzi miei», li rimprovera scherzosamente: «Kruscev non era certo un'astronauta!».

La professoressa Bain passa alla domanda successiva, e ripete animatamente la procedura – ovvero domanda, risposte e spiegazioni – ripercorrendo insieme ai suoi studenti la storia degli anni sessanta.

Quale paese è stato coinvolto, oltre agli Stati Uniti, nella fallita invasione della baia dei Porci?

- | | |
|-------------------|--------------------|
| A Honduras | B Haiti |
| C Cuba | D Guatemala |

Quando tutti danno la risposta giusta, tutta la classe insieme alza le braccia e agita le dita, un gesto di entusiasmo che chiamano *spirit fingers*. È quello che succede con la domanda sulla baia dei Porci: l'hanno azzeccata tutti quanti.

«Bene!», esulta Bain. «È già la quinta volta che facciamo spirit fingers oggi!».

L'atteggiamento disteso della classe di Bain è agli antipodi della carica di fredda tensione che aleggia in tante scuole pubbliche

di tutto il paese. A partire dalla promulgazione del No Child Left Behind Act, nel 2002, è andata crescendo l'opposizione di genitori e insegnanti all'indicazione di questa legge per cui «ogni bambino, ogni anno», dal terzo all'ottavo grado [dalla terza elementare alla terza media, N.d.R.] deve essere valutato con un test. Cresce il numero dei genitori che ritirano i figli dagli esami annuali; l'epicentro del movimento di rifiuto è forse lo Stato di New York, dove, a quanto risulta, alla fine della primavera scorsa in alcuni distretti fino al 90 per cento degli alunni ha rifiutato di affrontare l'esame di fine anno. L'accusa di chi critica l'enfasi eccessiva data ai test dalla scuola statunitense è che queste verifiche, in cui la posta in gioco è così alta, mettono in ansia studenti e insegnanti, e trasformano le aule in fabbriche di preparazione ai test, invece che in laboratori di vero e significativo apprendimento.

Nel dibattito da sempre polarizzato sull'istruzione da dare ai giovani statunitensi, quella dei test di verifica è diventata la questione più controversa di tutte. Eppure finora alla discussione è mancato un elemento essenziale. Le ricerche in scienze cognitive e in psicologia mostrano che i test di valutazione, se fatti bene, possono essere un mezzo di apprendimento estremamente efficace. Fare dei test, e impegnarsi prima e dopo in una serie di attività ben progettate, può promuovere il ricordo dei fatti – ma anche la comprensione approfondita e complessa – meglio di un'istruzione senza esami. Tuttavia un regime di esami mirato a sostenere attivamente l'apprendimento, ben oltre la semplice valutazione, dovrebbe essere assai diverso dagli esami che oggi si fanno nelle scuole statunitensi.

Quello che Bain fa nella sua classe prende il nome di *retrieval practice*: esercizio di recupero delle informazioni. Ha una base ben stabilita di sostegno empirico nella letteratura accademica e risale a quasi un secolo fa, ma la professoressa Bain, ignara di queste ricerche, ha elaborato da sola qualcosa di molto simile nel corso dei suoi 21 anni di esperienza scolastica.

«Mi hanno detto che sono un'ottima insegnante, ed è piacevole da sentire, ma vorrei dire a tutti: «No, non sono io, è il metodo!», dichiara Bain, intervistata alla fine della lezione. «A questo approccio sono arrivata con un percorso personale, e ho visto che funziona tanto bene che vorrei salire in cima a una montagna e urlare così forte da farmi sentire da tutti: «Fatelo anche voi!» Ma è stato difficile convincere altri insegnanti a provarlo».

Poi, otto anni fa, attraverso un conoscente comune ha incontrato Mark McDaniel. McDaniel è professore di psicologia alla Washington University di St. Louis, a mezz'ora di macchina dalla scuola di Bain. Aveva cominciato a descriverle le sue ricerche sulla retrieval practice quando lei lo ha interrotto. «Patrice mi ha detto: «È proprio quello che faccio io in classe! E funziona!», ricorda McDaniel, che poi aveva continuato a spiegare a Bain che quello che lui e i suoi colleghi chiamavano retrieval practice era essenzialmente esaminare gli studenti. «Lo chiamavamo *testing effect*, fino a quando non ci siamo fatti furbi e abbiamo capito che nessun insegnante e nessun genitore avrebbe mai voluto saperne di una tecnica in cui ci fosse la parola «test!», nota McDaniel.

Nella *retrieval practice* si usano test e quiz, ma non come strumento di valutazione. Il test è trattato invece come un'occasione di apprendimento, il che ha senso solo se riconosciamo di aver frainteso che cosa significa fare un test. Concepiamo il test come un indicatore, un'asta graduata da ficcare nella testa dell'allievo per vedere a che punto è arrivato il livello del sapere lì dentro, quando in effetti ogni volta che uno studente richiama una nozione dalla memoria, quella memoria cambia. La sua rappresentazione mentale diventa più forte, più stabile e più accessibile.

Ma come mai? Ha senso, considerando che sarebbe impossibile per noi ricordare tutto quello che ci capita intorno, dice Jeffrey Karpicke, professore di psicologia cognitiva alla Purdue University. Dato che la nostra memoria è necessariamente selettiva, l'utilità di un fatto o di un'idea – dimostrata dalla frequenza con cui abbiamo occasione di richiamarla alla mente – è una buona base per fare una scelta. «La nostra mente è sensibile alla probabilità di aver bisogno in futuro di questa o quella nozione; e se oggi recuperiamo una certa informazione è abbastanza probabile che ne avremo bisogno di nuovo qualche altra volta», spiega Karpicke. «Il processo di recupero di un ricordo altera il ricordo stesso, in previsione di possibili future richieste di recupero».

Gli studi di *imaging* mediante risonanza magnetica iniziano a rivelare i meccanismi neurali alla base del testing effect, o effetto della verifica. Nel piccolo numero di studi finora effettuati, gli scienziati hanno trovato che, rispetto al semplice ripasso, dover recuperare informazioni dalla propria memoria produce livelli di attività più elevati in particolari aree del cervello; queste regioni sono associate con il cosiddetto consolidamento, o stabilizzazione, dei ricordi e con la produzione di «indizi» mnemonici che li rendono più accessibili in tempi successivi. In parecchi studi i ricercatori hanno dimostrato che più queste regioni sono attive durante la seduta di apprendimento iniziale e più il soggetto riesce a richiamare le informazioni che ha appreso a distanza di settimane o mesi.

Secondo Karpicke, richiamare informazioni è il modo più importante in cui avviene l'apprendimento. «Ripescare informazioni che abbiamo già immagazzinate è più efficace, come evento di apprendimento, che immagazzinarle la prima volta», dice. «È il fatto di richiamarli, in ultima analisi, che rende durevoli i nuovi ricordi». Gli esercizi di richiamo delle informazioni non aiutano solo gli studenti a ricordare le specifiche nozioni recuperate, migliorano anche l'acquisizione di informazioni collegate ma non direttamente oggetto della verifica. I ricercatori teorizzano che nel frugare nella memoria in cerca di una particolare nozione si finisce per risvegliare anche altri ricordi a essa associati, e quindi anche questi ne escono rinforzati. Questa pratica, inoltre, aiuta gli studenti a non confondere ciò che stanno imparando con ciò che hanno imparato in passato, e sembra preparare le loro menti ad assorbire le nozioni che incontrano di nuovo dopo aver fatto il test (fenomeno che i ricercatori chiamano «apprendimento potenziato da test»).

Centinaia di studi hanno dimostrato che, nell'aiutare a ricordare quanto appreso, questo esercizio funziona meglio di tutti gli altri metodi a disposizione degli alunni. Per esempio: in uno studio pubblicato nel 2008 da Karpicke insieme al suo mentore, Henry Roediger III, dell'Università di Washington, gli autori riferivano

che gli studenti che si erano sottoposti ad auto-interrogazioni su una serie di vocaboli da imparare ne ricordavano poi l'80 per cento, mentre quelli che li avevano studiati ripetendoli ne ricordavano solo un terzo circa. La *retrieval practice* è particolarmente efficace in confronto alle due strategie di studio preferite dagli studenti: sottolineare o rileggere appunti e libri di testo, tecniche che una recente revisione ha trovato fra le meno efficaci di tutte.

Un test, inoltre, non migliora solo la capacità di ricordare fatti isolati. Tirare fuori le informazioni dalla memoria promuove anche quello che i ricercatori chiamano apprendimento profondo. Gli studenti impegnati in questo tipo di apprendimento sono in grado di fare collegamenti fra i fatti che conoscono e trarne inferenze, e riescono ad applicare le loro conoscenze in contesti diversi (gli studiosi parlano di trasferimento delle conoscenze). In un articolo pubblicato nel 2011 su «Science» Karpicke e una sua collega della Purdue University, Janell Blunt, hanno confrontato la *retrieval practice* con il metodo delle mappe concettuali. In questa tecnica, adottata da molti insegnanti per favorire l'apprendimento profondo, agli studenti è chiesto di tracciare un diagramma che illustri le relazioni tra concetti rappresentandole come collegamenti tra nodi, come le strade che collegano le città su una mappa.

Nel loro studio Karpicke e Blunt hanno fatto leggere a dei volontari, 200 studenti in tutto, un passaggio preso da un testo di scienze. A un gruppo di studenti è stato poi chiesto di realizzare una mappa concettuale, consultando il testo, e a un altro di richiamare dalla memoria quanto più possibile delle informazioni contenute nel testo appena letto. In un test effettuato una settimana più tardi gli studenti del gruppo che aveva richiamato le nozioni ricordava meglio i concetti presentati nel testo rispetto al gruppo della mappa concettuale. Inoltre il primo gruppo era più bravo anche nel trarre inferenze e tracciare connessioni tra i vari concetti del testo. Nel complesso, concludevano gli autori, il recupero delle informazioni era più efficace del 50 per cento circa nel promuovere l'apprendimento, sia quello fattuale sia quello profondo.

La capacità di trasferire le conoscenze – prendere quello che si è appreso in un dato contesto e applicarlo in un altro – è l'obiettivo ultimo dell'apprendimento profondo. In uno studio pubblicato nel 2010 Andrew Butler, psicologo dell'Università del Texas ad Austin, ha dimostrato che gli esercizi di recupero delle informazioni promuovono questo trasferimento meglio di un approccio convenzionale come lo studio mediante rilettura. Nell'esperimento di Butler gli studenti si impegnavano o in una rilettura o in un esercizio di richiamo di quello che avevano imparato dopo aver letto un testo pertinente a un campo del sapere: in questo caso l'uso delle onde sonore da parte dei pipistrelli per orientarsi nel volo. Una settimana dopo agli studenti è stato chiesto di trasferire quello che avevano appreso sui pipistrelli in un altro dominio: l'uso delle onde sonore nella navigazione dei sottomarini. Gli studenti auto-interrogatisi sul testo iniziale riuscivano meglio a trasferire quello che avevano imparato sui pipistrelli ai sottomarini.

Per quanto solidi, fino a poco tempo fa questi sono rimasti quasi esclusivamente risultati di laboratorio, con studenti universitari come soggetti. Da tempo McDaniel desiderava applicare il metodo nel mondo reale, ma accedere alle aule della scuola dell'obbligo non è stato facile. Con l'aiuto di Bain, McDaniel e due suoi colle-

**Le ricerche
in psicologia
e scienze cognitive
dimostrano che
i test di valutazione,
se fatti bene, possono
essere un mezzo
di apprendimento
assai efficace**

Un test per il gioco di squadra

Il PISA, il test più seguito del mondo, si avventura in un nuovo territorio: quello della messaggistica istantanea

di Peg Tyre

Quest'autunno, quando si siederanno al computer per affrontare i test del Program for International Student Assessment (PISA), decine di quindicenni di tutto il mondo saranno esaminati in lettura, matematica e scienze. Ma dovranno anche rispondere a una nuova controversa serie di domande fatte per misurare le «capacità di collaborazione nella risoluzione dei problemi». Invece di dare brevi risposte o lunghe spiegazioni, gli esaminandi dovranno segnare risultati di giochi, risolvere puzzle e fare esperimenti con l'aiuto di un compagno virtuale, con cui potranno comunicare scrivendo in una finestra di chat. Anche se i test relativi a questo nuovo dominio sono ancora sperimentali, i funzionari del PISA ritengono che i risultati spingeranno i governi a dare ai propri giovani strumenti migliori con cui affermarsi nell'economia globale.

I critici dicono che il PISA è ricaduto nella vecchia e aspra controversia su se sia possibile insegnare abilità come pensiero critico e capacità di collaborare, e se sia possibile insegnarle indipendentemente dai contenuti.

Dato il passo dell'innovazione tecnologica, le scuole devono adattarsi, e il nuovo dominio offre loro una mappa con cui orientarsi nel percorso, dice Jenny Bradshaw responsabile di progetto senior del PISA, che cura la supervisione del test. «Collaborare con gli altri senza vedersi in faccia,

soprattutto on line, diventerà una dote fondamentale per il successo nel lavoro. Questo, sempre di più, sarà il modo in cui funzioneranno gli ambienti di lavoro, e il mondo».

È una forte novità per questo esame, che esiste da 15 anni ed è coordinato dall'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), che riunisce 34 paesi industrializzati. Da quando ne è iniziata la distribuzione, nel 2000, i test del PISA sono serviti a misurare la capacità degli studenti di usare lettura, matematica e scienze nelle situazioni della vita reale. Le classifiche del PISA, e i relativi titoli sui giornali, hanno rapidamente iniziato ad accendere le preoccupazioni dei politici interessati alla competitività internazionale. Proprio queste classifiche, almeno in parte, hanno alimentato un mosaico di tentativi di riforme scolastiche negli Stati Uniti e in Europa. I mediocri piazzamenti degli Stati Uniti hanno contribuito a spingere il presidente Barack Obama a esprimere nel 2009 l'impegno di far «risalire dal centro alla testa della classifica in scienze e matematica» gli studenti statunitensi nel giro di dieci anni.

Ne 2008 i giganti della tecnologia Cisco, Intel e Microsoft, allarmati dal fatto che i candidati che vedevano arrivare in cerca di lavoro erano mal preparati per certi compiti essenziali, hanno cominciato a finanziare ricerche autonome attraverso

il gruppo ATC21S (Assessment & Teaching of 21st Century Skills), allo scopo di identificare e promuovere quelle che dovrebbero essere le capacità richieste dal XXI secolo: più o meno, saper pensare in modo critico e creativo, lavorare in modo cooperativo e adattarsi alla continua evoluzione dell'uso della tecnologia nel lavoro e nella società. Nell'arco di diversi anni ATC21S ha convinto il PISA a cominciare a esaminare gli studenti di tutte le parti del mondo su alcune di queste capacità e ha trovato le persone che, nel mondo accademico, hanno costruito un'impalcatura di ricerche su come farlo.

Tre anni fa all'esame PISA sono state aggiunte domande che avrebbero dovuto tirar fuori le capacità di risoluzione dei problemi dei quindicenni del mondo. (Secondo il PISA, i cinesi sono bravi, gli israeliani non tanto e gli statunitensi stanno più o meno nel mezzo.) Quest'anno il PISA metterà sotto le sue lenti la capacità di collaborare per risolvere problemi degli studenti di 51 paesi del mondo.

Prese in sé, le domande dei test sono di volta in volta divertenti e frustranti. Anche se i ricercatori dell'ATC21S ritengono che sarebbe meglio affrontare la questione mediante una vera e propria collaborazione, gli esaminandi del PISA saranno accoppiati a un partner virtuale soprannominato «Abby». Insieme a esso, ci si attende che

ghi dell'Università di Washington, Roediger e Kathleen McDermott, hanno impostato uno studio controllato randomizzato alla Columbia Middle School, che ha finito per coinvolgere nove insegnanti e oltre 1400 studenti. Durante l'esperimento, gli studenti di sesto, settimo e ottavo grado [prima, seconda e terza media, N.d.R.] hanno studiato scienze e scienze sociali seguendo uno di due metodi: 1) il materiale era presentato una volta e poi gli insegnanti lo ripassavano con gli studenti per tre volte; 2) il materiale era presentato una volta e poi gli studenti erano interrogati per tre volte (con l'uso di clicker, come nella classe di Bain).

Quando sono stati calcolati i risultati delle prove d'esame standard per le relative unità didattiche, la differenza tra i due approcci è stata chiara: gli studenti ottenevano in media il voto C+ sul materiale ripassato e A- su quello oggetto di interrogazioni. [Negli Stati Uniti i voti vanno da A, il più alto, a E, N.d.R.] In un test effettuato otto mesi dopo, gli studenti ricordavano le nozioni su cui erano stati interrogati meglio di quelle che avevano ripassato.

«Avevo sempre visto test ed esami come strumenti per valutare, non per insegnare», dice Andria Matzenbacher, già insegnante alla Columbia e oggi progettista di strumenti didattici. «Ma sono rimasta colpita dalla differenza che la retrieval practice ha fatto nelle prestazioni degli studenti». Per Bain, invece, non è stata una sorpresa. «Che il metodo funzionasse lo sapevo, ma è stato bel-

lo averne la prova scientifica», dice. McDaniel, Roediger e McDermott hanno esteso lo studio anche alla vicina scuola superiore, la Columbia High School, dove la tecnica delle interrogazioni ha prodotto risultati altrettanto notevoli. Nel tentativo di fare di questa pratica una strategia di tutto il paese, il gruppo dell'Università di Washington, (con l'aiuto della ricercatrice Pooja K. Agarwal, ora alla Harvard University) ha scritto un manuale per gli insegnanti, intitolato *How to Use Retrieval Practice to Improve Learning*.

Malgrado le prove favorevoli, però, i sostenitori della retrieval practice devono affrontare l'automatico riflesso negativo di molti insegnanti e genitori verso i test. E trovano anche un'obiezione più profonda: negli Stati Uniti gli studenti di test ne fanno già tanti, molto più spesso che in Finlandia e a Singapore, che regolarmente si piazzano assai meglio degli Stati Uniti nelle valutazioni internazionali. Se davvero i test sono così utili all'apprendimento, perché gli studenti statunitensi non sono più bravi?

Marsha Lovett ha già pronta la risposta. Lovett, che dirige l'Eberly Center for Teaching Excellence and Educational Innovation della Carnegie Mellon University, si occupa di «metacognizione», cioè della capacità di riflettere sul proprio sapere, di rendersi conto di quello che si sa e quello che non si sa, e usare questa consapevolezza per gestire i processi di apprendimento in modo efficace.

È vero, dice Lovett, gli studenti statunitensi fanno tanti test.



gli esaminandi arrivino a determinare le migliori condizioni per far vivere dei pesci in un acquario: l'esaminando controlla l'acqua, lo scenario e l'illuminazione, e Abby controlla cibo, popolazione ittica e temperatura. Per portare a termine il compito gli studenti devono arrivare a un accordo sul metodo per risolvere il problema, rispondere a possibili preoccupazioni, chiarire equivoci, condividere le informazioni ricavate dai tentativi di prova e sintetizzare risultati, fino a trovare la risposta corretta.

Tanti critici dicono che queste nuove «materie»

sono un errore grossolano. «Dawvero c'è un insieme di abilità indipendenti, in questo caso la capacità di collaborare nel risolvere problemi, che si può trasferire da un campo del sapere all'altro?», chiede Tom Loveless, ricercatore in pedagogia della Brookings Institution. «Due biologi risolvono i problemi allo stesso modo di due storici? O è diverso? Fin dai tempi di John Dewey la pedagogia progressista sostiene di sì, ma di fatto non lo sappiamo».

I sistemi scolastici che intendono preparare gli studenti per il futuro dovrebbero aiutarli a impa-

ronirsi delle complessità di matematica, scienze e lettura e scrittura, invece di investire risorse nella promozione di concetti così nebulosi.

Bradshaw, del PISA, riconosce che in effetti su questi domini innovativi restano interrogativi aperti, ma ribadisce che secondo lei e il suo gruppo questo è un esperimento da fare. E mentre i ricercatori effettuano studi di validazione e focus group sulla collaborazione nella risoluzione dei problemi, altri studiosi, sempre del PISA, sono già al lavoro sulla prossima frontiera. Entro il 2018, dice Bradshaw, il suo gruppo proporrà un buon modo per misurare la «competenza globale».

Poiché nel campo dell'istruzione è vero che si finisce per insegnare quello che serve per passare gli esami, AT21S si prepara alla prevedibile ondata di preoccupazioni dei paesi che si classificheranno più in basso offrendo video su come si lavora nelle aule dove, a detta dei ricercatori, insegnanti e studenti fanno le cose giuste. E ha anche lanciato un MOOC, ovvero un corso di massa on line accessibile a tutti, per insegnare ai docenti come introdurre la collaborazione nella risoluzione dei problemi nelle loro classi. Al corso si sono iscritti in 30.000; un quarto di loro è arrivato in fondo.

Peg Tyre, giornalista, si occupa da tempo di problemi dell'istruzione ed è autrice di The Good School e del best-seller The Trouble with Boys. Cura inoltre la direzione strategica della Edwin Gould Foundation, che aiuta studenti a basso reddito ad andare all'università.

È quello che succede dopo, o meglio che non succede, che fa sì che questi test non siano opportunità di apprendimento. Spesso gli studenti ricevono poche informazioni su dove sono andati bene e che cosa hanno fatto male. «Questo tipo di restituzione dei risultati, domanda per domanda, è essenziale per imparare, e noi stiamo gettando via questa opportunità di apprendimento», dice. Inoltre, è raro che gli studenti siano spinti a riflettere in modo più ampio su come si preparano e come sono andati al test. «Spesso danno un'occhiata al voto, mettono via il compito e non lo guardano più», dice Lovett. «Anche questa è un'opportunità di apprendimento di grande importanza, e noi la sprechiamo».

Qualche anno fa Lovett ha trovato un modo per spingere gli studenti a riflettere dopo un test. Lo chiama «questionario incartato». Quando il docente restituisce allo studente il questionario con il voto lo «incarta» in un foglio con una lista di domande: un breve esercizio che gli studenti devono compilare e consegnare. Quello preparato da Lovett per un esame di matematica prevedeva domande come quelle qui accanto.

In base alle stime di cui sopra, che cosa farai di diverso per il prossimo esame? Per esempio, cambierai il tuo modo di studiare o cercherai di affinare in particolare certe abilità? Sii specifico. E poi, che cosa possiamo fare noi, per aiutarti?

Quanto del tuo tempo di studio hai dedicato a ognuna delle seguenti attività?

- Leggere gli appunti presi in classe? _____ MINUTI
- Rifare vecchi problemi assegnati per casa? _____ MINUTI
- Risolvere altri problemi? _____ MINUTI
- Leggere il libro? _____ MINUTI

Dopo aver riguardato il tuo compito di esame, fai una stima percentuale di quanti punti hai perso per ognuno dei motivi seguenti.

- _____ % per non aver capito un concetto
- _____ % per trascuratezza (cioè errori di disattenzione)
- _____ % per non essere riuscito a formulare un approccio al problema
- _____ % per altri motivi (specificare)

L'idea, dice Lovett, è far pensare gli studenti a quanto non sapevano o non avevano capito, al motivo per cui non avevano afferrato queste nozioni e a come avrebbero potuto prepararsi in modo più efficace per il prossimo test. Lovett promuove l'uso di questi «involucri» presso i docenti della Carnegie Mellon ormai da diversi anni, e diversi professori, soprattutto quelli di scienze, hanno adottato questa tecnica nei loro corsi. Riconsegnano i compiti con le correzioni e i voti chiusi in un foglio, raccolgono i fogli compilati e – qui viene il meglio – li ridanno agli studenti nel periodo in cui si preparano per il test successivo.

È cambiato qualcosa con questo sistema? Nel 2013 Lovett ha pubblicato uno studio sui test incartati in un capitolo di un libro collettivo dal titolo *Using Reflection and Metacognition to Improve Student Learning*. In quel capitolo, Lovett riferiva che le abilità metacognitive degli studenti delle classi che avevano adottato la tecnica dell'incartamento erano cresciute nel semestre più di quelle degli studenti dei corsi che non l'avevano adottata. Inoltre, un'indagine condotta alla fine del semestre ha trovato che più della metà degli studenti ai quali erano state date le prove d'esame «incartate» segnalava cambiamenti nel proprio approccio all'apprendimento e allo studio, adottati proprio in risposta alle relative domande.

Questa pratica si sta diffondendo ad altre università e alle scuole dell'obbligo. Lorie Xikes insegna in una scuola secondaria, la Riverdale High School di Fort Myers, in Florida, e ha usato la tecnica nel suo corso avanzato di biologia. Quando restituisce i compiti corretti, il foglio in cui sono incartati chiede, per esempio:

In base alle risposte che hai dato alle domande precedenti, scrivi almeno tre cose che farai in modo diverso quando dovrai prepararti per il prossimo test. SII SPECIFICO.

Quanto tempo, più o meno, hai dedicato alla preparazione di questo test? (SII ONESTO)

Tenevi la tv, la radio/il computer accesi? Stavi su qualche social media mentre studiavi? Giocavi a qualche videogioco? (SII ONESTO)

Ora che hai visto i risultati del test, indica in quale di queste aree hai trovato difficoltà.

- Applicare le definizioni _____
- Scarsa comprensione dei concetti _____
- Errori di distrazione _____
- Lettura di diagrammi e grafici _____

«Di solito lo studente vuole sapere che voto ha preso e basta», dice Xikes. «Fargli riempire il questionario esterno lo spinge a fermarsi e ragionare su come si prepara per gli esami, chiedendosi se il suo approccio sta funzionando o meno».

Oltre a distribuire i questionari esterni, Xikes dedica anche tempo in classe a riesaminare il compito corretto, domanda per domanda, con commenti che aiutano gli studenti a sviluppare la cruciale capacità dell'«auto-osservazione metacognitiva», cioè di capire, momento per momento, che cosa sanno e che cosa invece

devono ancora imparare. Le ricerche sulla retrieval practice mostrano che con i test si possono individuare mancanze specifiche nella preparazione dello studente, nonché sgonfiare gli eccessi di fiducia generale in se stessi a cui gli studenti sono suscettibili, ma solo se correzione e commenti arrivano tempestivamente.

Nel tempo, l'esposizione ripetuta al ciclo test-correzione in classe può motivare gli studenti a sviluppare la capacità di tenere sotto osservazione i propri processi mentali. Gli studenti benestanti che ricevono un'istruzione di alto livello acquisiscono forse questa capacità in modo automatico, ma spesso gli studenti di scarsi mezzi che frequentano scuole povere e difficili ne sono privi, e questo fa sperare che il metodo possa dare un serio contributo per cominciare a colmare il divario nei risultati scolastici tra privilegiati e svantaggiati.

È proprio quello che hanno trovato James Pennebaker e Samuel Gosling, professori dell'Università del Texas ad Austin, quando hanno istituito quiz quotidiani per l'affollato corso di psicologia che tengono congiuntamente. I quiz erano proposti *on line*, usando un programma che diceva agli studenti se avevano risposto in modo corretto alle domande subito dopo l'immissione di una risposta. I punteggi finali dei 901 studenti del corso con le domande quotidiane sono stati superiori in media di circa mezzo punto (sulla consueta scala A-E) rispetto a un gruppo di confronto di 935 studenti di Pennebaker e Gosling che in precedenza avevano seguito un corso più tradizionale sugli stessi argomenti.

Sorprendentemente gli studenti che rispondevano ai quiz quotidiani del corso di psicologia hanno ottenuto risultati migliori anche negli altri corsi del semestre in cui seguivano quello di Pennebaker e Gosling e del semestre seguente, suggerendo che le frequenti verifiche con segnalazione degli errori siano servite a potenziare le loro generali capacità di autoregolazione. Ancora più entusiasmante per i professori è che questo espediente ha ridotto del 50 per cento il divario nei voti di profitto tra gli studenti di classi sociali diverse. «La frequente verifica dell'apprendimento è una pratica valida nel migliorare le capacità di apprendimento e di pensiero, e può essere di particolare aiuto per gli studenti che partono da una più debole preparazione scolastica», dice Gosling.

I due ricercatori, che nel 2003 hanno pubblicato il loro risultato (insieme a Jason Ferrel, dottorando della stessa università), su «PLoS One» hanno attribuito il merito della crescita di efficacia delle verifiche ripetute alle «correzioni rapide, mirate e strutturate» ricevute dagli studenti. E qui si apre un problema per gli studenti delle scuole pubbliche statunitensi, che devono fare in media dieci test standardizzati all'anno nelle classi dal terzo all'ottavo grado [dalla terza elementare alla terza media, N.d.R.] secondo un recente studio del Center for American Progress. Contrariamente ai test preparati dagli insegnanti dei casi di cui si è parlato fin qui, i test standardizzati sono di solito venduti alle scuole dalle case editrici. I risultati dei test arrivano spesso a distanza di settimane o anche di mesi dalla compilazione. E per mantenere la sicurezza delle domande che li compongono – e poterle usare di nuovo in futuro – le aziende non danno i risultati domanda per domanda ma solo un punteggio numerico che non dice molto.

C'è anche un altro aspetto dei test statali standardizzati che ne impedisce un uso più efficace come occasioni di apprendimento. Nella schiacciante maggioranza dei casi le domande proposte sono di natura superficiale, portando quasi inevitabilmente a imparare in modo superficiale.

Se i test di uso corrente negli Stati Uniti dovessero essere valutati per la difficoltà e la profondità delle domande proposte, sareb-

Imparare con i test

Le domande a quiz non servono solo a valutare l'apprendimento ma anche a potenziarlo. In uno studio inteso a confrontare studio e test, pubblicato nel 2008 su «Science», un gruppo di psicologi ha chiesto a quattro gruppi di studenti universitari di imparare 40 parole della lingua swahili. Il primo gruppo ha studiato le parole e poi è stato ripetutamente esaminato su di esse; per gli altri le parole correttamente memorizzate sono state escluse dalle successive sedute di studio o di esame, o da entrambe. Dopo una settimana gli studenti che erano stati esaminati su tutte le parole ne ricordavano l'80 per cento, mentre quelli che le avevano solo studiate ne ricordavano più o meno un terzo.

Chiari benefici da test ripetuti



bero quasi tutti bocciati. È la conclusione di Kun Yuan e Vi-Nhuan Le, studiosi del comportamento umano allora alla RAND Corporation, un istituto di ricerca no profit. In un rapporto pubblicato nel 2012 Yuan e Le hanno valutato i test di matematica e di padronanza dell'inglese proposti da 17 Stati degli Stati Uniti, classificando le singole domande in base alla sfida cognitiva posta all'esaminando. I ricercatori hanno usato uno strumento chiamato Depth of Knowledge – realizzato da Norman Webb, *senior scientist* del Wisconsin Center for Education Research – che identifica quattro livelli di impegno mentale, da DOK1 (semplice ricordo) a DOK2 (applicazione di abilità e concetti), DOK3 (ragionamenti e inferenze) e DOK4 (indagine e pianificazione ad ampio raggio).

Nei test statali esaminati da Yuan e Le la maggior parte delle domande erano di livello DOK1 o DOK2. Gli autori hanno adottato come indicatore domande che misurano le forme più profonde di apprendimento il livello DOK4 e, se questo è il riferimento, i test vanno bocciati. Gli studenti di cui era stato valutato l'apprendimento profondo con i test statali erano solo tra l'1 e il 6 per cento nella lettura, riferiscono Yuan e Le; tra il 2 e il 3 per cento nella scrittura; e lo zero per cento in matematica. «Sapere che cosa misurano i test è importante, perché quello che sta nei test tende a guidare l'istruzione», osserva un'esperta di livello in tema di

apprendimento e sua valutazione come Linda Darling-Hammond, docente emerita della Stanford Graduate School of Education. Tanto più, aggiunge, quando dai risultati dei test dipendono ricompense e sanzioni, come nel caso del No Child Left Behind Act e nelle misure intese a garantire ai cittadini trasparenza e possibilità di verificare l'azione dello Stato stesso.

Secondo Darling-Hammond, le norme del No Child Left Behind Act costringono gli Stati a impiegare test a scelta multipla a basso costo che possano essere corretti a macchina e, a suo avviso, è quasi impossibile che questo tipo di test possa misurare l'apprendimento profondo. Test diversi, però, potrebbero farlo. In *Beyond the Bubble Test*, pubblicato nel 2014, Darling-Hammond e il suo collega a Stanford Frank Adamson hanno proposto una concezione assai diversa della valutazione: esami con domande aperte (le cui risposte sono valutate da un insegnante, non da una macchina), che chiedono agli studenti di sviluppare e argomentare un'opinione e di eseguire un esperimento scientifico o di costruire un rapporto di ricerca.

Negli anni novanta, fa notare l'autrice, alcuni Stati avevano cominciato a usare test di questo tipo: ma il tentativo è terminato con l'approvazione del No Child Left Behind Act. Darling-Hammond riconosce che il passaggio a test più raffinati si è arrestato anche per le preoccupazioni relative a problemi organizzativi e di costi. Ma comunque valutare gli studenti in questo modo non è un'utopistica fantasticheria: altri paesi, come Regno Unito e Australia, già lo fanno. «I loro studenti lavorano come i veri scienziati, o i veri storici, e i nostri anneriscono quaderni [per rispondere ai test a scelta multipla, N.d.R.]», dice. «È penoso».

Vede però qualche motivo di ottimismo: negli Stati Uniti è in via di sviluppo una nuova generazione di test, con cui valutare quanto gli studenti rispondano ai Common Core State Standards, un insieme di criteri di riferimento relativi a lettura, scrittura e matematica adottato da 43 Stati della confederazione statunitense. Due di questi test – quelli detti Smarter Balanced e Partnership for Assessment of Readiness for College and Careers (PARCC) – sembrano promettenti come test di apprendimento profondo, dice Darling-Hammond, con riferimento a una recente valutazione effettuata da Joan Herman e Robert Linn, ricercatori del National Center for Research on Evaluation, Standard and Student Testing (CRESST) dell'Università della California a Los Angeles. Herman nota che entrambi i test tendono a mettere l'accento su domande di livello 2 o superiore della scala del Depth of Knowledge di Webb, e che almeno un terzo del punteggio massimo conseguibile dallo studente si deve a domande di livello DOK3 e DOK4. «Forse questi due test non si spingono fino a dove avremmo voluto», ha ammesso Herman l'anno scorso in un intervento su un blog, ma «probabilmente ci faranno fare un grosso passo avanti». ■

PER APPROFONDIRE

The Critical Importance of Retrieval for Learning. Karpicke J.D. e Roediger III H.L., in «Science», Vol. 319, pp. 966-968, 15 febbraio 2008.

The Value of Applied Research: Retrieval Practice Improves Classroom Learning and Recommendations from a Teacher, a Principal, and a Scientist. Agarwal P.K. e altri, in «Educational Psychology Review», Vol. 24, n. 3, pp. 437-448, settembre 2012.

Improving Students' Learning with Effective Learning Techniques: Promising Directions from Cognitive and Educational Psychology. Dunlosky J. e altri, in «Psychological Science in the Public Interest», Vol. 14, n. 1, pp. 4-58, gennaio 2013.

Developing Assessments of Deeper Learning: The Costs and Benefits of Using Tests That Help Students Learn. Darling-Hammond L. e Adamson F., Stanford Center for Opportunity Policy in Education, 2013.

APPRENDIMENTO

Italia, la questione della valutazione

Contestati da studenti e famiglie, criticati da molti docenti, i test di valutazione dell'apprendimento scolastico sono oggetto di un acceso dibattito

di Salvo Intravaia

IN BREVE

A differenza di quanto avviene negli Stati Uniti, nel nostro paese non c'è un ricorso massiccio a test con cui viene valutato l'apprendimento degli alunni della scuola primaria e delle

scuole secondarie di primo e di secondo grado.

Durante la carriera scolastica gli studenti italiani devono affrontare quattro momenti di valutazione con

differenti test, indicati con le sigle INVALSI, PISA, PIRLS e TIMMS, che sono anche usati come strumenti didattici.

Ma nonostante questo impiego

moderato rispetto ad altri paesi, in Italia un numero non indifferente di genitori e di esperti del settore considerano questi test dannosi e superati.

Illustrazione di Mario Wagner



Salvo Intravaia è laureato in ingegneria e insegna matematica e fisica presso un liceo scientifico di Palermo. Ha collaborato con «L'Espresso» e con l'Enciclopedia Treccani. Dal 2000 collabora stabilmente con «la Repubblica» per i temi scolastici e universitari. Ha scritto *L'Italia che va a scuola* (Laterza, 2012).



Sui test di valutazione degli apprendimenti scolastici l'Italia è in ritardo. Una volta tanto, però, non è detto che si tratti di una cattiva notizia. Uno svantaggio per le nostre scuole e i nostri alunni che, per dirla in altri termini, inaspettatamente potrebbe trasformarsi addirittura in punto di forza, perché stando agli esperti del settore – che spesso criticano i tifosi degli strumenti di analisi dell'efficienza dei sistemi scolastici mutuati dall'industria – troppo spesso il nostro incrinato sistema scolastico importa esperienze da altre realtà estranee alle nostre tradizioni. O adotta strumenti da paesi che non c'entrano nulla con la nostra cultura e le nostre impostazioni.

Nelle scuole statunitensi non sembra che l'uso massiccio di domande strutturate per verificare quanto gli alunni hanno imparato in alcuni ambiti strategici abbia portato chissà quali risultati. Anzi, si sono accorti i tecnici d'oltreoceano, ha prodotto un'inutile ansia a milioni di alunni che ricordano con terrore quei momenti, anche più di uno nell'arco di ogni anno scolastico.

Con quali risultati? Pochi, sembra di capire. Perché spulciando le classifiche internazionali sugli apprendimenti in lettura, matematica e scienze dei quindicenni – gli arcinoti test OCSE-PISA (da Programme for International Student Assessment) – nell'edizione del 2012 gli Stati Uniti figurano addirittura al di sotto dell'Italia, che non fa certo una bella figura in ambito internazionale per competenze in matematica, e poco al di sopra dell'Italia, ma sempre lontani dalle posizioni di vertice, per competenze in lettura e scienze.

E nel nostro paese, qual è lo stato dell'arte? I test vengono usati in maniera massiccia o restano uno dei tanti strumenti di verifica possibili presi in considerazione dagli insegnanti? «Le cose in Italia sono molto diverse rispetto agli Stati Uniti, dove c'è una vera e propria inflazione di test. Da noi, spiega Stefania Pozio, docente di scuola media, che collabora con l'INVALSI dal 2001 ed è referente OCSE-PISA e TIMSS-IEA per l'Italia, «in 13 anni di scuola ci sono soltanto quattro momenti di valutazione con test standard. Il pericolo che i test possano creare ansia quindi non c'è. Negli Stati Uniti invece lo usano come strumento di valutazione quotidiano».

«Nelle nostre classi – continua Pozio – non mi risulta che quotidianamente si usino test per l'apprendimento. Si somministrano soltanto in alcuni momenti dell'anno scolastico per verificare il livello di preparazione degli alunni o lo svolgimento delle attività». Da qualche tempo, infatti, nelle scuole italiane sono comparsi alcuni test fatti in casa o scaricati da Internet, usati dai docenti per avere qualche informazione in più. Generalmente ai ragazzini del primo anno della scuola media o della scuola superiore si somministrano test «d'ingresso» in alcune discipline chiave – italiano, matematica, scienze e lingua straniera – per avere un quadro d'insieme del livello degli studenti al loro ingresso a scuola e per

disporre la programmazione delle attività scolastiche annuali. Il voto di diploma, nel caso dei ragazzini di terza media, o la pagella della quinta elementare (oggi scuola primaria) non assicura alle scuole il livello di preparazione degli alunni, quindi si procede con lo strumento più agile: il test.

Si somministrano test agli alunni di interi istituti, ma non in tutte le scuole, anche alla fine del trimestre-quadrimestre o alla fine dell'anno scolastico per verificare il livello di svolgimento dei singoli programmi. Nelle scuole italiane l'insegnamento è ancora di tipo abbastanza tradizionale, con interrogazioni orali, compiti in classe e attività di laboratorio. E docenti italiani non sembrano affatto affascinati dai test di valutazione come strumento quotidiano.

Per certi versi questa resistenza alle novità da parte degli insegnanti nostrani risulta una risorsa perché, dopo anni di uso a tappeto, negli Stati Uniti è in corso una profonda riflessione sul ruolo di questo strumento che in Italia è entrato a far parte del vocabolario di tutti i giorni solo da pochi anni. Negli Stati Uniti da qualche anno ci si pone una domanda: i test, che come strumenti di valutazione non hanno assicurato grandi risultati, possono essere usati come strumenti didattici? Alcuni neuroscienziati giurano che la loro efficacia come strumento di apprendimento supera addirittura le metodologie tradizionali. Qual è l'atteggiamento sull'argomento della scuola italiana?

Strumenti per riflettere

A questo punto, è bene fare un passo indietro. In Italia i genitori sono consapevoli soltanto da pochi anni che nel corso della carriera scolastica i loro figli verranno sottoposti alla valutazione standardizzata degli apprendimenti attraverso test INVALSI e PISA, e sono assai meno consapevoli che verranno anche sottoposti ai test PIRLS e TIMSS. Come avviene in quasi tutti gli aspetti della vita sociale, anche questo ha portato gli addetti ai lavori, i genitori e gli stessi insegnanti a riflettere sullo strumento in sé, con le immancabili due correnti di pensiero: i contrari, che bollano i test come strumenti di valutazione troppo restrittivi, che non met-



Alunni della scuola elementare «Niccolò Tommaseo» di Torino eseguono il test INVALSI nel maggio 2014.

tono in risalto tutta una serie di competenze e abilità di cui l'alunno può essere in possesso; e i fan dei test, che li considerano uno strumento indispensabile per valutare il livello di alcuni apprendimenti – lettura, matematica e scienze – e per effettuare confronti tra alunni della stessa scuola e con le scuole di realtà più ampie: la provincia o le diverse aree geografiche del paese. Il tutto per permettere al preside e al suo staff e ai responsabili della cosa pubblica di apportare gli opportuni correttivi e adottare politiche perequative in quelle zone d'Italia dove si scontano ritardi e la situazione desta più preoccupazioni.

Ma i test servono soltanto a valutare? Non solo, secondo Pozio. «Ho svolto la mia tesi di dottorato – racconta la professoressa – sugli errori commessi dagli studenti italiani nei test PISA, e quando sono tornata in classe a insegnare ero una docente diversa. Perché dall'analisi degli errori emerge tutta una serie di indicazioni importantissime per il docente, anche sulle domande a scelta multipla. A volte emergono luoghi comuni nella preparazione dei docenti che, in totale buona fede, si trasmettono agli alunni, i quali rispondono tutti in maniera errata ad alcune domande». Il test è uno strumento utile per riflettere sull'operato della scuola e degli insegnanti. «È fondamentale il lavoro di restituzione. Ma spesso – aggiunge Pozio – si guardano soltanto le per-

tuali e basta. Chiederò al Ministero dell'istruzione che sia reso obbligatorio un corso di formazione sui test INVALSI, perché occorre un confronto tra insegnanti per capire che cosa non è andato per il verso giusto».

Dalla valutazione alla didattica

Convintissima di questo approccio Anna Maria Ajello, docente di psicologia alla «Sapienza» Università di Roma e presidente dell'INVALSI – l'Istituto nazionale per la valutazione del sistema educativo di istruzione e formazione – che ci tiene a sfatare i luoghi comuni sulle «sue» prove, a partire da che cosa misurano i test di cui è responsabile il suo istituto. «I test INVALSI misurano soltanto alcune competenze di matematica e la comprensione della lettura. L'idea di usare i test come strumento didattico è nella prospettiva dei test INVALSI, perché anche a questo serve la restituzione annuale. L'INVALSI propone agli insegnanti una riflessione sui risultati. Questo tipo di approccio non è una novità: alcuni insegnanti usano gli *item* di questo test come occasione didattica: prendono un item e indicano agli alunni le pagine del libro dove è possibile trovare la risposta. Si tratta di un modo per sollecitare la rielaborazione». La rilevazione dell'INVALSI è alla sua undicesima edizione, essendo partita con l'anno scolastico 2004-2005 nelle

seconde e quarte classi della primaria, nelle prime classi della secondaria di primo grado e nelle prime e terze classi della secondaria di secondo grado per le conoscenze in italiano, matematica e scienze. Ma nelle edizioni successive ha subito una serie di modifiche. Oggi, dopo diverse variazioni, sonda gli apprendimenti degli alunni di quattro classi – la seconda e la quinta primaria, l'ultima classe della scuola secondaria di primo grado (la terza media) e la seconda classe della scuola superiore (secondaria di secondo grado) – in italiano e matematica.

Con oltre due milioni di alunni sottoposti ai test, l'obiettivo dell'INVALSI scaturisce dal Decreto Legislativo n. 286 del 2004, che istituisce il Servizio nazionale di valutazione del sistema educativo di istruzione e di formazione e ridefinisce i compiti dell'istituto. «Ai fini del progressivo miglioramento e dell'armonizzazione della qualità del sistema educativo italiano è istituito il Servizio nazionale di valutazione del sistema educativo di istruzione e di formazione con l'obiettivo di valutarne l'efficienza e l'efficacia, inquadrando la valutazione nel contesto internazionale». Oggi il principale scopo dell'INVALSI è effettuare una fotografia del sistema scolastico nazionale restituendo annualmente alle singole scuole, addentrando nel particolare delle singole classi esaminate, i risultati dei propri alunni e i confronti con quelli della stessa Provincia, Regione e dell'ambito nazionale (oggetto di un rapporto annuale) e, nelle scuole superiori, anche per indirizzo di studi.

«La restituzione – spiega Ajello – avviene per ambiti socio-culturali omogenei. Oggi la novità dei test INVALSI rispetto al passato è che ogni item è agganciato alle competenze previste nelle indicazioni nazionali, che sono prescrittive». In questo modo le scuole possono confrontare la loro azione educativa, fatte le debite differenze sociali ed economiche, con quella delle altre realtà. Ed eventualmente mettere in campo azioni di miglioramento per risalire le classifiche.

Ma c'è chi dubita della validità dei test INVALSI. «In Italia la cultura del test è limitata anche per le diffidenze del mondo della scuola nei confronti della psicologia», spiega Alessandro Antonietti, professore dell'Università Cattolica di Milano e a capo del corso di perfezionamento *Assessment e training cognitivo, strumenti e strategie per valutare e potenziare i processi di pensiero*, secondo il quale sarebbe opportuno intervenire con situazioni differenti. «L'idea di prove standardizzate per fotografare la situazione italiana mi sembra importante – continua Antonietti – ma occorre capire se le prove INVALSI siano adatte: mi è capitato di analizzarle, e alcune domande non si capisce se misurino competenze o capacità di ragionamento. Alcuni item mi sono sembrati ambigui, e andrebbero costruiti meglio. Anche il processo andrebbe gestito meglio, perché sia nella fase di somministrazione sia nella fase di spoglio e caricamento dei dati sono gli stessi docenti della scuola a occuparsene. Mentre le prove PISA sono somministrate da personale esterno».

«L'intento comunque è buono – aggiunge l'accademico – e mi sembra la controparte dell'autonomia: tu scegli gli insegnanti e il percorso, ma poi io valuto i tuoi progressi. Io, Stato, devo verificare a quale punto porti gli alunni, ma in maniera rigorosa». Mentre l'idea di adottare i test come strumento didattico quotidiano è bocciata da Antonietti. «Occorrerebbe trovare modalità agevo-

li per applicare nelle classi italiane la *retrieval practice*, ma questa modalità ha anche i suoi limiti: gli alunni potrebbero sentirsi sempre come in una situazione da quiz. E comunque non enfatizzerei troppo il ruolo dei test: si può operare anche con gli strumenti tradizionali usati dagli insegnanti, ma le prove andrebbero effettuate con maggiore frequenza e la valutazione dovrebbe seguire di pochi giorni la verifica stessa».

I test internazionali

Tuttavia gli organismi internazionali privilegiano proprio questo strumento, che alcuni esperti italiani considerano una mezza calamità. I test proposti dall'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), che affilia 34 paesi tra i più industrializzati e progrediti del pianeta, prendono il via nel 2000, e hanno cadenza triennale con un approfondimento diverso per ogni edizione: nel 2012 sono state approfondite le competenze in matematica.

I test internazionali PIRLS e TIMSS, a cui partecipa anche l'Italia fin dalla prima edizione, sono proposti dall'International As-

sociation for the Evaluation of Educational Achievement, un organismo «di cooperazione internazionale indipendente dalle istituzioni di ricerca nazionali e agenzie di ricerca governative», si legge sul sito web. E si occupa di condurre «studi comparativi su vasta scala su aspetti relativi all'istruzione e all'insegnamento, con l'obiettivo di acquisire una comprensione approfondita degli effetti delle politiche e delle pratiche all'interno e tra i sistemi di istruzione». Il PIRLS, da Progress in International Reading Literacy Study – sonda le competenze in lettura degli alunni del quarto grado di istruzione, in

Italia la quarta elementare. Fa il suo esordio nel 2001 con gli alunni di 35 nazioni e si ripete con cadenza quinquennale nel 2006 e nel 2011, e la prossima edizione sarà nel 2016. Nell'ultima edizione, quella del 2011, sono stati coinvolti gli alunni di 49 nazioni o realtà nazionali. Il TIMSS, da Third International Mathematics and Science Study, è uno studio internazionale sulle competenze in matematica e scienze che prende il via nel 1995 con gli alunni di cinque livelli scolastici (il terzo, il quarto, settimo, e ottavo livello di istruzione, e l'ultimo anno di scuola secondaria) di 45 paesi. L'Italia partecipa a entrambe le indagini fin dall'esordio. Oggi sonda le competenze in matematica e scienze dal quarto e all'ottavo grado dell'istruzione: la quarta elementare e la terza media, nel nostro paese. I test standardizzati sono quindi lo strumento privilegiato, forse il più comodo, dagli organismi nazionali e internazionali per valutare gli apprendimenti nelle aree cruciali della preparazione dei giovani.

Ma diversi esperti del settore li considerano una iattura. E le famiglie italiane, come è avvenuto negli Stati Uniti, cominciano a ribellarsi. È accaduto proprio diversi mesi fa con i test INVALSI della scuola elementare, dove – considerato che i bambini di seconda e quinta elementare difficilmente avrebbero potuto «scioperare» come fanno i grandi – le prove sono state boicottate dalle famiglie, soprattutto nelle regioni meridionali. A confermarlo, dopo mezza verità e tassi di partecipazione ufficiali abbastanza confortanti, l'ultimo rapporto sui test INVALSI 2015, presentato lo scorso 9 luglio, in cui in alcune tabelle di confronto delle prestazioni in italiano e matematica per alcune regioni – Campania, Puglia, Sicilia

**Per valutare
l'apprendimento
dei giovani i test
standardizzati sono
lo strumento
privilegiato dagli
organismi nazionali
e internazionali,
e forse il più comodo**



In molte scuole italiane gli studenti hanno boicottato i test INVALSI con scioperi bianchi, striscioni, volantini, flash mob e assemblee.

e Sardegna – compare un insolito asterisco: «La partecipazione alla rilevazione è inferiore al 75 per cento delle classi campionate».

«Ma che cosa vuole misurare? Le competenze non si possono misurare. Perché le competenze non sono come le grandezze fisiche, non esiste un'unità di misura», chiosa Giorgio Israel, professore in pensione con la sua ultima cattedra alla «Sapienza» Università di Roma. «Il test è predisposto da una persona che ha le sue idee. Si tratta di test, per l'INVALSI, preparati secondo i loro criteri. Per la matematica, per esempio, è opinabile che si punti soprattutto sul *problem solving*. La matematica è forse la materia più filosofica tra tutte, ma viene ridotta alla risoluzione di problemi. L'INVALSI aveva iniziato con pedagogisti e psicologi, ma adesso è gestito da tecnocrati. Ci sono manuali per la risoluzione dei test INVALSI che non servono a nulla. Negli Stati Uniti ci sono comitati che si oppongono ai test da anni, in Italia occorrerebbe aprire una discussione, perché la competenza è una qualità soggettiva».

Andare oltre

Una bocciatura su tutti i fronti che lascia solo un piccolo spiraglio. Secondo Israel, «i test si possono usare a patto che si spieghino i principi che lo ispirano. Per valutare gli apprendimenti si potrebbe fare come nel Regno Unito, dove ci sono commissioni miste (insegnanti, alunni, genitori, ispettori, presidi) che si recano nelle scuole, interrogano alunni, insegnanti e genitori e poi stilano un rapporto. I test non insegnano nulla agli alunni, servono soltanto a diffondere l'ignoranza. I ragazzi devono essere chiama-

ti a ragionare con la testa. In Francia, dove cambiare non è complicato come in Italia, stanno eliminando i test di valutazione».

Benedetto Vertecchi, uno dei più noti pedagogisti italiani, i test li considera addirittura superati. «In questi ultimi anni c'è stata la tendenza ad andare verso prove strutturate sull'onda delle valutazioni internazionali, con tutto uno strumentario tradizionale mirato alla comprensione delle competenze. Ma in Italia abbiamo una strana situazione: scoprire le cose quando sarebbe il caso di pensare ad altro. Il test rappresenta lo stato dell'arte di 30-40 anni fa. Da allora si sono scoperti altri strumenti». E mentre negli Stati Uniti si pensa all'altra faccia dei test – il recupero delle informazioni con la *retrieval practice* – in Italia si potrebbe andare anche oltre.

«Per esempio: abbiamo scoperto che è importante conoscere il patrimonio verbale del bambino perché adesso i bambini conoscono sempre meno parole e le sanno anche organizzare peggio. Hanno una sintassi e una grammatica più povera». Strumenti come i test «vengono criticati perché si ragiona dal punto di vista competitivo. Si è visto che i test danno risultati se il livello culturale è alto. Ma con la globalizzazione le culture si sono impoverite. Inoltre – taglia corto Vertecchi – gli insegnanti italiani non sono per nulla affezionati ai test perché nella loro formazione culturale hanno privilegiato l'analisi dei processi e si fidano delle loro intuizioni. Con i test facciamo un tuffo all'indietro di mezzo secolo. Oggi, in Italia, abbiamo altre esigenze: dobbiamo pensare al domani, e a come saranno i nostri alunni fra vent'anni. Purtroppo, la logica economicistica non mira a tempi così lunghi».

Conta, togli, mangia (le crocchette)

Il termine ibrido «fantascienza» armonizza le due parole genitrici - «fantasia» e «scienza» - in maniera abbastanza rigorosa: la fantasia ha il compito di violare qualche vincolo scientifico attualmente in atto, e la scienza quello di ipotizzare in maniera coerente le possibili conseguenze della violazione. Supponiamo di poter violare l'impossibilità di viaggiare nel tempo, e immaginiamo che cosa accadrebbe se un gruppo di chirurghi plastici si fosse messo all'opera sul celebre nasino di Cleopatra; sbeffeggiamo l'impossibilità di viaggiare più veloci della luce, e cerchiamo di capire se il Millennium Falcon di Han Solo abbia davvero bisogno di una linea aerodinamica per tuffarsi dentro un pianeta gigante gassoso. E così via.

Ovviamente questo implica una sorta di patto con il lettore, che deve accettare l'iniziale assurdità della *fiction* sospendendo il giudizio, pena l'impossibilità di procedere nel racconto. Ma tutto questo è ben noto ai lettori di questa rubrica, perché è proprio a questa «sospensione del giudizio» che ci affidiamo spesso e volentieri. Per esempio stavolta lasciamo intendere che una micia nera e grassottella sia in grado di capire perfettamente l'umana lingua italiana, di fare di conto e usare la logica assai meglio di alcuni primati ragionevolmente evoluti. Come se non bastasse, si chiede al lettore anche di accettare il fatto che normali crocchette per gatti siano numerabili e numerate, cosa che neppure Georg Cantor accetterebbe a cuor leggero.

Se la vostra capacità di sospensione del giudizio lo consente, allora lasciatevi condurre su un basso tavolino di un soggiorno tradizionalmente arredato, dove la gatta Gaetanagnesi mostra un'aria sazia, satolla e soddisfatta ai due umani maschi seduti sulle sedie di fronte a lei: Doc con l'aria pensosa e preoccupata, Rudy intento a prendere appunti, con la pipa digrignata tra i denti.

«D'accordo, datemi subito un motivo per non arrabbiarmi».

La voce di Alice, appena rientrata, è ancora calma. Gli occhi però stanno già lanciando saette: «La *silhouette* di quella gatta ricorda ormai quella famosa barzelletta delle mucche ipotizzate perfettamente sferiche per semplicità di calcolo».

«Non arrivare a conclusioni affrettate, Treccia. Si tratta del solito torneo autunnale umano-felino basato sul calcolo delle crocchette - sospira Rudy - e anche quest'anno il rappresentante umano, Doc, è stato stracciato dalla campionessa felina. E si che avevo pure messo delle regole per limitare i danni...».

Alice si lascia cadere sulla poltrona: «Stanca, sono già stanca. Entro in casa fresca e serena, parlo con voi per 30 secondi, e sono già stanca, stanca...».

«Non starlo a sentire, Alice», si intromette Piotr. «Come sempre, mi ha ingannato: lui tifa per la gatta. Prima mi spiega un gioco, facciamo qualche partita, mi fa giocare sempre per secondo, e vinco sempre. Allora io sfido la micia, le lascio sempre la prima mossa, e...».

«... «miao», dice Gaetanagnesi: e si capisce benissimo che la traduzione è «...e te le ho suonate come un tamburo»».

Alice scivola sempre più stancamente sulla poltrona: «Il gioco. Spiegatevi il gioco. Tanto so già che lo farete...».



«Tglrcrchtt. Almeno così lo scriverebbero gli arabi, che hanno l'abitudine di non scrivere le vocali: insomma, «togli crocchette»».

«Arabo, sì... O codicefiscalese, che è pure peggio. Non mi avete stancato così, sareste già tutti e due al Prmtscrs. Con la testa rotta».

Rudy fa finta di non capire: «Insomma, si prendono 101 crocchette, tutte numerate, si impedisce a micia e Piotr di mangiarle».

Alice alza uno stanco sopracciglio; Doc capisce la domanda inespressa: «Non sono male, se le accompagni con un po' di birra... ma Rudy mi ha impedito di bere».

Alice emette l'incrocio tra un singhiozzo e un sospiro. Rudy continua: «... E le si dispongono sul tavolo. Il primo giocatore ne toglie nove, a sua scelta. Senza vincoli, quelle che preferisce, basta che siano nove. Poi, il secondo giocatore compie la stessa operazione, e avanti in questo modo fino a quando non restano due sole crocchette numerate».

La soluzione del problema esposto sarà pubblicata in forma breve sul numero di novembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.



Piotr sfida Gaetanagnesi nella nuova edizione del torneo autunnale umano-felino basato sul calcolo delle crocchette

IL PROBLEMA DI SETTEMBRE

Il mese scorso, raccontando le remote origini della redazione di RM, argomentavamo su come ritrovare armadietti, disposti su 3 file per N colonne, la cui numerazione originale per file era stata mutata in numerazione per colonne. In generale, la numerazione originale di un armadietto può essere espressa come $iN + j$, con i che varia da 0 a 2 ed esprime la fila, mentre j varia da 1 a N e rappresenta la colonna. Dopo che la numerazione è stata cambiata, il medesimo armadietto si troverà invece definito dal numero $3(j-1) + (i+1)$, ovvero da $3j + i - 2$. Gli armadietti dei nostri tre eroi sono situati su tre file diverse, quindi possono essere definiti come j_1 , $N + j_2$ e $2N + j_3$. La nuova numerazione trasforma i tre numeri rispettivamente in $3j_1 - 2$, $3j_2 - 1$ e $3j_3$.

Esistono solo due modi per scambiare ciclicamente tre oggetti: uno di que-

sti genera il sistema di equazioni $j_1 = 3j_3$; $N + j_2 = 3j_1 - 2$; $2N + j_3 = 3j_2 - 1$; l'altro genera il sistema $j_1 = 3j_2 - 1$; $N + j_2 = 3j_3$; $2N + j_3 = 3j_1 - 2$. La presenza di N come quarta variabile di un sistema a tre sole equazioni è aggraviabile imponendo che i risultati devono essere interi, (magari con tutte le considerazioni di congruenza modulare che le equazioni diofantee solitamente comportano). Il numero di studenti compreso tra 1200 e 1500 limita N tra 400 e 500, e per questo intervallo le soluzioni possibili (ovvero le terne di numeri di armadietti scambiabili) sono soltanto sei, con nessun numero di armadietto ripetuto nelle terne.

Questo non basterà a noi per individuare quale sia la tema giusta, ma è più che sufficiente per Rudy, che ovviamente conosce benissimo il numero originario del suo armadietto.



«Insomma, il gioco finisce dopo 11 mosse, visto che 9 per 11 continua a fare 99, che più 2 fa 101», aggiunge Doc.

Alice regala a Piotr uno stanco sguardo di compatimento.

«Qui entra in gioco la mia regola moderatrice: le due crocchette superstiti hanno un numero; se ne fa la differenza, e se questa differenza d è maggiore di 54, il primo giocatore riceve in premio $d - 54$ crocchette; se invece è minore, il secondo giocatore riceve $54 - d$ crocchette. Se d è proprio 54, abbiamo evidentemente una patta e nessuna crocchetta finisce nella pancia di nessuno».

«Ma intanto la micia ingrassa...», commenta flebilmente Alice.

«Solo perché Doc è rimbambito», grugnisce Rudy. «È ormai evidente anche a chi abbia il QI di un'ameba che esiste un'evidente strategia per tenere a dieta il felino, per lo meno quando questo gioca per secondo, ma lui non riesce a vederla».

Alice continua scivolare sulla poltrona, sospiro dopo sospiro. Rudy, un po' preoccupato, prova a rianimarla.

«Proprio un attimo prima che tu arrivassi, avevo escogitato una variante per facilitare la vita al rappresentante della razza umana. Ascolta Doc, riesci a fornirci 27 crocchette numerate in modo opportuno?».

«Forse... Se raschio il fondo di quest'ultima scatola...».

«Ecco: adesso tu e Gaetanagnesi avete davanti 27 crocchette numerate da 1 a 27; ora dovrete toglierne una a testa, continuando fino a quando restano due sole crocchette».

«E chi vince?».

«Se la somma dei due numeri restanti è divisibile per 5, vince chi ha iniziato per primo; altrimenti vince il secondo».

Piotr sfodera un sorriso: «Oh! Questo mi suona meglio. Vuoi vedere che le *chance* stavolta sono a favore del mammifero più evoluto?».

Alice trova la forza per commentare: «Allora non è cambiato nulla, Doc: con tutta evidenza, lo erano anche prima».

Perché aiutiamo gli altri

L'altruismo

di David Sloan Wilson

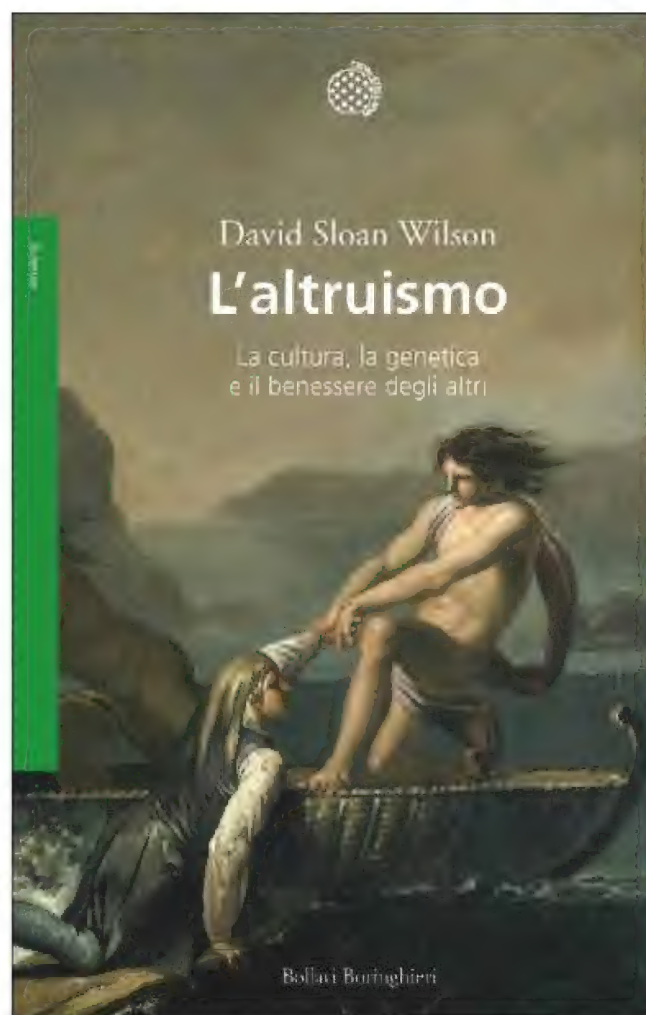
Bollati Boringhieri, Torino, 2015, pp. 162 (euro 19,50)

L'altruismo è da sempre uno dei problemi più interessanti dell'evoluzione darwiniana. Come è possibile infatti conciliare il meccanismo della selezione naturale che dovrebbe premiare l'egoista (capace di riprodursi più efficientemente degli altri) con il fatto che molti organismi compiono azioni che avvantaggiano altri individui? Si pensi alle api operaie, le quali non si riproducono ma lavorano per la riproduzione della regina. In un mondo dove la selezione è percepita come esclusivamente individuale, dove la competizione è solo tra i singoli, l'evoluzione di comportamenti altruistici è un dilemma, come aveva già riconosciuto Charles Darwin nell'*Origine delle specie*.

Una teoria che avuto molta eco ha descritto l'altruismo in termini di geni: aiuto solo chi è imparentato con me, e quindi condivide una parte del mio patrimonio genetico. In altri termini, aiuto prima me, poi eventualmente mio fratello, poi i cugini: se non riesco a tramandare il 100 per cento dei miei geni, almeno ne passo la metà. Questo modello, detto della «selezione parentale» aiuta a spiegare alcuni aspetti etologici degli insetti sociali, per esempio: le operaie sono geneticamente identiche tra loro e alla regina, quindi dal punto di vista dei geni, una buona riuscita della regina è barattabile con l'altruismo delle operaie.

In quest'ottica, l'altruismo non esiste: esistono solo i geni egoisti, quelli richiamati dal titolo del famoso libro di Richard Dawkins. Tuttavia non sempre tutto torna, ed è possibile adottare un altro punto di vista: invece di passare dall'individuo ai geni si può guardare a un livello di selezione più alto, il gruppo. In questa prospettiva, sono alcune caratteristiche del gruppo a essere scremate nel processo evolutivo: numerose ricerche hanno mostrato infatti che gruppi di insetti possono scegliere di essere più o meno altruisti, indipendentemente dai geni condivisi, e che questa caratteristica viene favorita dall'evoluzione, con tassi riproduttivi per i membri del gruppo altruista più elevati rispetto agli egoisti. La selezione di gruppo è quindi un altro modo di vedere l'evoluzione.

David Sloan Wilson, biologo statunitense capace di collaborare con gli umanisti su diversi temi, è da decenni il più appassionato divulgatore di questo approccio «gerarchico» all'evoluzione, dove i diversi punti di vista, dai geni in su, non sono mutualmente esclusivi ma piuttosto complementari. In questo libro, parte di un progetto editoriale della John Templeton Foundation (che indaga temi rilevanti per la religione), Wilson analizza l'altruismo a ogni livello, in modo chiaro e sintetico, accessibile anche ai profani. L'evoluzione fa da sfondo alla lunga spiegazione, che parte appunto dalle dispute sull'esistenza stessa dell'altruismo per arrivare ad analizzare diversi lati dell'esperienza umana: la religione, per esempio, cui Wilson aveva già dedicato un importante volume, *La cattedrale di Darwin*, uscito nel 2009 per Giovanni Fioriti Editore, o il cosiddetto altruismo patologico. Si può infatti diventare malati di altruismo: individui che si sentono in colpa per even-



ti in cui non hanno avuto alcun ruolo, con una sorta di eccesso empatico che diventa pericoloso quando si esce da una nicchia in cui invece costituiva un vantaggio. Questo altruismo patologico espone secondo Wilson a depressione e stress post-traumatici, proprio in virtù di un'indole troppo votata al sacrificio a favore di altre persone.

Alcune tesi di fondo espresse da Wilson possono essere discutibili. Non tutti sono d'accordo sull'idea secondo cui ogni fenomeno culturale umano sia da considerare necessariamente il prodotto della selezione naturale, anche se al livello di gruppo. Tuttavia, il volume è assai stimolante per la prospettiva che offre: una visione ad ampio raggio capace di racchiudere organismi e fenomeni molto diversi tra loro, con una semplicità mutuata dalla teoria darwiniana su cui si fonda. Esempio è il riassunto che ne offre Wilson stesso (ripreso da un suo scritto con l'altro grande Wilson, Edward Osborne, fondatore della sociobiologia): «All'interno di un gruppo l'egoismo batte l'altruismo. I gruppi altruisti battono i gruppi egoisti. Tutto il resto è commento».

Mauro Capocci

Un'affascinante storia di pidocchi, filosofia e politica



Il fantastico laboratorio del dottor Weigl

di Arthur Allen

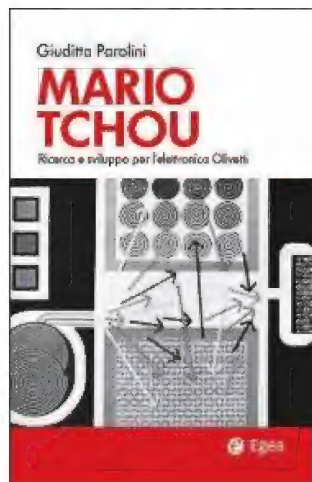
Bollati Boringhieri, Torino, 2015, pp. 374 (euro 25,00)

Il tifo, malattia dovuta all'infezione di un parassita ospitato dai pidocchi del corpo umano (non quelli dei capelli), è stato per secoli uno spauracchio dell'umanità: colpiva intere popolazioni dove a ottobre ci si metteva addosso uno strato di abiti che veniva tolto solo a primavera inoltrata, per necessità climatiche e abitudini culturali. Rudolf Weigl, medico tedesco ma polacco di adozione, fu il primo a trovare un rimedio efficace a questo flagello: un vaccino creato iniettando il parassita nell'ano dei pidocchi, per poi estrarne l'intestino e usarlo per l'immunizzazione. Difficile da ottenere — era necessario crescere i pidocchi per oltre due settimane, e sodomizzare un pidocchio con la pipetta non era semplice — il vaccino ebbe una circolazione piuttosto limitata: le dosi usate furono nell'ordine delle decine di migliaia nel corso degli anni.

Anche durante la seconda guerra mondiale i nazisti sfruttarono Weigl per cercare di bloccare le epidemie che colpivano duramente sul fronte sovietico. Ma per allevare i pidocchi è necessario sangue umano: così centinaia di persone, tra le quali ebrei e importanti intellettuali polacchi, si salvarono dai campi di sterminio perché si misero a disposizione (dopo la vaccinazione) per farsi succhiare il sangue dagli animalletti, un lavoro fondamentale. E dal laboratorio di Weigl si dipartono molte narrazioni, che comprendono figure centrali come Ludwik Fleck (l'altro protagonista del libro), filosofo della scienza di grande influenza nel Novecento, o i boicottaggi esercitati nei lager per limitare la produzione di farmaci per i soldati tedeschi. Un libro denso, a tratti persino comico, che racconta una bella storia umana in un periodo buio della storia d'Europa.

Mauro Capocci

Ritratto del genio dell'informatica made in Italy



Mario Tchou

di Giuditta Parolini

Egea, Milano, 2015, pp. 162 (euro 20,00)

La storia non si fa con i se. Ma in certi casi la domanda si trasforma in rovello. Succede leggendo la storia di Mario Tchou e ripercorrendo la parabola del laboratorio di ricerche elettroniche della Olivetti, che diresse dalla sua fondazione nel 1955 fino alla prematura scomparsa, nel 1961, a soli 36 anni. La sua morte e quella di Adriano Olivetti avvenuta l'anno precedente segnano sostanzialmente la fine di un'esperienza rimasta unica nella storia industriale nazionale: quella volta che l'Italia poteva ambire a giocare un ruolo da protagonista nella nascente rivoluzione informatica.

La storia di Tchou, raccontata con stile asciutto e documentato da Giuditta Parolini, è quella di una mente curiosa, figlio di diplomatici cinesi in Italia, che si forma come ingegnere a Roma e poi negli Stati Uniti, alla Columbia University. Torna in Italia per lavorare su invito di Olivetti nella nuova divisione elettronica, che darà vita negli anni successivi alla serie di calcolatori elettronici ELEA, grazie soprattutto alla visione, alle competenze, ai rapporti internazionali di Tchou.

E grazie a una realtà aziendale all'avanguardia, per l'investimento in ricerca e sviluppo, la cura della dimensione sociale del lavoro, e una capacità rara di anticipare il futuro: per selezionare nuovi assunti addetti alla programmazione dei calcolatori, un gruppo di psicologi suggerisce di pescare tra gli irregolari, i *drop out*, come i futuri protagonisti della rivoluzione informatica, da Steve Jobs a Mark Zuckerberg. Ma non mancano le resistenze, interne all'azienda e da parte del mondo politico e imprenditoriale italiano, che avranno la meglio con la scomparsa di Tchou. Questa biografia colma un vuoto e fa ancora una volta riflettere sulle occasioni perdute dall'Italia.

Marco Motta

Sedici giorni di scienza con BergamoScienza

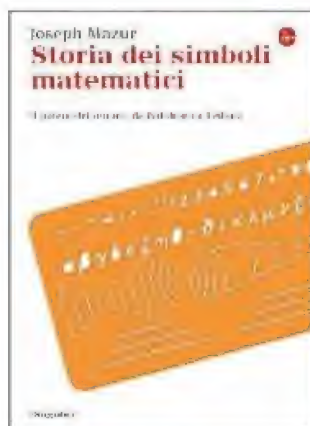
Sarà l'australiano Peter Charles Doherty, premio Nobel per la medicina per i suoi studi sulla specificità della difesa immunitaria, a inaugurare BergamoScienza. Giunto ormai alla tredicesima edizione, l'evento bergamasco è uno degli appuntamenti di riferimento nel panorama dei festival che portano il mondo della ricerca all'attenzione del grande pubblico.

Dal 2 al 18 ottobre la città verrà animata da numerosi appuntamenti gratuiti e di diversa tipolo-



gia. Ci saranno conferenze, mostre, spettacoli. E la possibilità di incontrare altri due Nobel: il chimico svizzero Richard Robert Ernst, che con i suoi risultati ha contribuito allo sviluppo della risonanza magnetica nucleare (NMR), e il fisico russo naturalizzato britannico Konstantin Novoselov, uno dei due scopritori del grafene, il promettente materiale bidimensionale composto da carbonio.

Ma non solo le scienze dure saranno protagoniste, a BergamoScienza ci sarà spazio anche per ambiente e salute, neuroscienze, spazio, genetica e molto altro ancora. Ci sarà spazio per appuntamenti pensati appositamente per un pubblico di giovani e ragazzi. Impossibile riassumere qui tutto. Per info: <http://www.bergamoscienza.it>. (cb)



Storia dei simboli matematici

di Joseph Mazur

Il Saggiatore, Milano, 2015, pp. 392 (euro 26,00)

Il secolare viaggio dei simboli nella matematica

Ogni studente che arrivi ad affrontare i rudimenti del calcolo differenziale deve, prima o poi, interrogarsi su una strana ambiguità. I libri di testo introducono il concetto di derivata con il simbolo dy/dx , e questo viene in genere assorbito senza traumi: il mestiere di chi studia impone spesso di accettare le nuove nozioni senza interrogarsi troppo. Quasi inevitabilmente, dopo poco, lo stesso studente incontrerà alcuni esercizi che si possono più facilmente risolvere se si trattano il « dx » e il « dy » di quel simbolo come se fossero elementi distinti e spostabili indipendentemente da un membro all'altro delle equazioni secondo le usuali regole dell'algebra.

Sulla legittimità, teorica e pratica, di tali operazioni si potrebbe discutere a lungo: ma l'elemento rivoluzionario resta questo velato suggerimento dato al discente di fare a pezzi un simbolo, e trasformarlo in due altri simboli: quasi come se si suggerisse di spezzare un segno « $+$ » in due « $-$ », magari concedendosi pure il lusso di ruotare il trattino verticale.

Il matematico Joseph Mazur racconta che Leibniz, in realtà, nell'introdurre il simbolo della derivata dovette persino tener conto delle preoccupazioni dei tipografi, spaventati dalla verticalità del simbolo che li avrebbe costretti a variare di volta in volta lo spazio interlineare tra le righe del

testo. Ma soprattutto tenne in conto la fluidità che avrebbe indotto nei calcoli perché, come aveva già in parte dimostrato Viète, la semplificazione nella manipolazione non è solo un miglioramento di ordine quantitativo, ma in grado di produrre una matematica di migliore qualità.

I simboli nascono spesso a fatica; talvolta meditati, talvolta quasi per caso, e spesso non sopravvivono che per poco. Altri superano le tempeste iniziali e si affermano, diventano virali: sulle lavagne un meno si trasforma in un più automaticamente, senza pensarci; un denominatore si semplifica facendo scomparire un'intera linea di frazione. La danza di pochi segni logici astrae e concentra in un istante una quantità di concetti e di relazioni che, a volerli descrivere a parole, richiederebbero interi quarti d'ora. E più procede l'astrazione, più i simboli diventano reali e oggettivi, quasi automatizzando i calcoli e diventando pertanto protagonisti cruciali nello sviluppo della matematica.

Perché un simbolo è più di un mero carattere tipografico: è un collante mentale, un elemento del linguaggio; è persino un deciso agente psicologico, come racconta l'autore nei capitoli conclusivi: e scoprire il secolare viaggio dei simboli fino ad affermarsi e diventarci familiari è davvero interessante.

Piero Fabbri



Erba volant

di Renato Bruni

Codice Edizioni, Torino, 2015, pp. 240 (euro 15,00)

Dalle piante ispirazioni per innovazioni tecnologiche

Velcro, cemento armato, sistemi *tutor* di alcune autostrade, ma anche vernici idrorepellenti, dispositivi per la filtrazione dell'aria, farmaci. Sono tutti oggetti o materiali che hanno in comune una cosa, e cioè il fatto di essere nati grazie a un'ispirazione tratta dal mondo delle piante, da qualche dettaglio dell'anatomia o fisiologia vegetale. Per esempio è osservando il reticolo fibroso di una pala di fico d'India che al giardiniere francese Joseph Monier viene in mente di combinare una rete metallica con il cemento: è il 1867, e nasce così il cemento armato. È la biomimetica, l'osservazione della natura per cogliere soluzioni che potrebbero essere utili all'uomo e in questo libro Renato Bruni, docente di botanica all'Università di Parma, si sofferma con curiosità e competenza proprio sulle tante ispirazioni che abbiamo colto e che potremmo ancora cogliere dalle piante.

Un espediente narrativo forte — c'è un «apprendista stregone» capace di parlare con erbe, alberi e fiori che ha il compito di trovare idee innovative per una futuristica azienda di *scouting* conto terzi — apre le porte a un viaggio nelle infinite meraviglie della botanica e delle sue applicazioni. Nell'ufficio dell'insolito «traduttore pianta-uomo» sfilano i vegetali più diversi — muschi, palme, felci, faggio-

li, piante carnivore, canne palustri, rampicanti tropicali — ciascuno con una storia da raccontare, che è il resoconto di un'eccellenza. O, meglio, di un adattamento a condizioni ambientali più o meno difficili, ai problemi che la vita gli ha messo davanti: come ottimizzare l'efficienza della fotosintesi, sparare lontano i propri semi, difendersi dagli insetti, concentrare l'acqua piovana e così via.

Se analizzate con l'occhio dell'innovatore, queste soluzioni diventano una miniera di possibilità per nuove sfide umane, che si tratti di colonizzare pianeti extraterrestri, sviluppare elisir di lunga vita o nuovi sistemi energetici, bonificare ambienti inquinati. Ma, soprattutto, sono una scusa per raccontare, con un linguaggio preciso ma vivace, spesso arricchito da metafore sorprendenti, l'intimo funzionamento delle piante, che spesso ignoriamo del tutto. Non a caso Bruni parla di «daltonismo» e di «anestesia percettiva» nei confronti di questi organismi. Strada facendo, la miriade di racconti offre anche l'occasione di chiarire per bene i meccanismi di base dell'evoluzione e l'importanza di conoscerne la logica. Perché anche questo si può e si deve imparare dalla natura: non solo soluzioni puntuali, ma anche il suo efficace metodo di lavoro.

Valentina Murelli

Stare in bilico per avanzare

Il tema scelto per l'edizione di quest'anno del Festival della scienza di Genova è la ricerca dell'equilibrio e la sua continua rottura che permette di progredire

Per camminare dobbiamo sbilanciarci almeno un po', non troppo da cadere, ma quello che basta affinché il nostro corpo compia un passo. Poi un altro e un altro ancora, in un continuo alternarsi di ricerca dell'equilibrio e della sua continua rottura che ci permette di muovere. Un'alternanza fondamentale, non solo per poter camminare, ma che permette di comprendere molti fenomeni naturali. Questo il tema scelto per la XIII edizione del Festival della scienza di Genova, che in parte vuole prendere il testimone dall'EXPO di Milano, dove l'equilibrio ha fatto spesso rima con sostenibilità, per approfondirne le tematiche con gli occhiali della scienza.

Il programma è, come al solito, ricco, a partire dalle iniziative legate alle celebrazioni e alle ricorrenze del 2015: il centenario della relatività generale di Albert Einstein e l'Anno mondiale della luce. Ma è forse la cronaca del grande esodo di profughi e rifugiati che sta interessando l'Europa ad aver spinto gli organizzatori a invitare come paese ospite, nell'Anno europeo per la cooperazione internazionale, le Nazioni Unite. Sono UNESCO, FAO, UNICEF e UNIDÒ a organizzare incontri sul tema della sostenibilità, dell'innovazione nel settore dell'agroalimentare, sulla diffusione della cultura scientifica nei paesi più poveri.

Tra le *lectio magistralis*, il fiore all'occhiello della manifestazione, vanno segnalate le presenze di scienziati di valore assoluto: Jared Diamond, che negli ultimi tempi si è occupato di temi vicinissimi a quello di questa edizione; Mark Miodownik, uno dei più brillanti divulgatori e indagatori del rapporto tra materiali innovativi e arti; Tim Spector, epidemiologo genetico e autore di un libro provocatorio sul perché siamo la società più grassa della storia. La presenza di Andrea Accomazzo e Amalia Ercoli-Finzi garantiscono che anche il cosmo e la sua esplorazione non vengano trascurati. Per il ciclo, ormai appuntamento fisso, di «Scienza e...», spiccano lo scrittore Gianrico Carofiglio e lo storico della scienza Lucio Russo.

Tra le mostre sono da segnalare *Quel genio di Fermi*, organizzata dal Centro Fermi a 80 anni da quell'estate del 1935 in cui il gruppo di Via Panisperna si è disperso, e una mostra che solo dal titolo, *2015: Ritorno al futuro*, promette di interessare gli amanti del cinema e della fantascienza.

Marco Boscolo



In tutta la città. La Sala del Maggior Consiglio di Palazzo Ducale, una delle sedi del festival, che coinvolge tutta Genova. Sotto, scene dall'evento dello scorso anno.



Dove & quando:

Festival della scienza
Dal 22 ottobre al 1° novembre
Genova
www.festivalscienza.it





Genesi di una bufala attiraclick

Come – e perché – la qualità dell'informazione scientifica nei media è in calo

Di recente l'ANSA ha annunciato l'avvenuta realizzazione di «tunnel spaziotemporali capaci di collegare due luoghi lontani nello spazio» per opera di fisici dell'Università Autonoma di Barcellona. Comunicata così, la notizia fa pensare che sia giunta meravigliosamente l'ora di abbandonare auto, aerei e razzi spaziali, perché viaggeremo non solo nello spazio, ma anche nel tempo, usando questi straordinari tunnel, che non sono stati semplicemente teorizzati: sono stati addirittura realizzati.

Il titolo della notizia, infatti, ne ribadisce la concretezza: *Da Star Trek alla realtà, costruito un mini tunnel spaziotemporale*. Molti giornali e telegiornali, fidandosi dell'agenzia di stampa, hanno ripreso la notizia negli stessi termini. E così il lettore e telespettatore medio si aspetta di trovare presto in vendita un apparecchietto tuttotfare che viaggi nel tempo e nello spazio. Una sorta di TARDIS, per i fan di Doctor Who.

Ma non è vero niente.

Infatti l'articolo scientifico originale riassunto dall'ANSA, *A Magnetic Wormhole*, pubblicato nei Scientific Reports dell'autorevole rivista «Nature», non parla affatto di viaggi nel tempo. Descrive, assai più prosaicamente, un condotto che trasferisce un campo magnetico (e solo quello) da un punto a un altro lungo un percorso non rilevabile magneticamente. Questo tunnel, dice esplicitamente l'articolo, crea soltanto «l'illusione» di un campo magnetico che si propaga in un tunnel «al di fuori dello spazio 3D». Un'illusione, insomma, che non include nessuno spostamento di materia nello spazio e men che meno nel tempo. Una scoperta interessante a livello teorico e con possibili applicazioni nelle tecniche mediche basate sul magnetismo, come la risonanza magnetica durante gli interventi chirurgici, ma completamente diversa da quanto descritto dal lancio d'agenzia.

Come è possibile un errore così macroscopico? Parlando con gli addetti ai lavori emergono due fattori ricorrenti. Il primo è la riduzione del personale: spesso i veterani competenti sono stati eliminati a favore di apprendisti inesperti, che costano meno. Le notizie scientifiche da segnalare vengono spesso trovate non sfogliando con attenzione «Nature» o altre riviste di settore, ma attingendo a tabloid come il «Daily Mail» britannico, che infatti è stato uno dei primi a parlare del tunnel. Naturalmente la qualità è precipitata.

Normalmente un calo del genere porterebbe a una fuga di utenti paganti, che incentiverebbe una riconquista della qualità, ma qui entra in gioco il secondo fattore: l'economia del click.

Con la migrazione prepotente del pubblico verso Internet, le testate giornalistiche guadagnano in base ai click che generano, perché il click del lettore su un articolo produce la visualizzazione di pubblicità. In questo tipo di economia non ha più importanza la qualità della notizia: conta soprattutto che la notizia attiri click. Dato che un titolo che parla di tunnel spaziotemporali in stile Star Trek è molto più accattivante di uno che annuncia un condotto di trasferimento di campi magnetici, giornalmisticamente l'ar-



Altro che TARDIS. A dispetto di certe notizie di stampa, una macchina per viaggiare nello spazio e nel tempo come quella del Doctor Who è ben lontana dall'essere realizzata.

ticolo funziona: non è veritiero, ma attira tanti click e costa meno di un articolo ben fatto.

In questo modello economico non c'è alcun incentivo alla qualità, al controllo delle notizie e alla rettifica degli errori, anche perché la stragrande maggioranza dei lettori non si renderà conto di aver letto una bufala; non conoscendo la fragilità del processo di generazione della notizia, si fiderà. Una strategia vincente a breve termine per molte testate ma disastrosa per la diffusione popolare della conoscenza scientifica, sempre più necessaria in una società tecnologica.

Conoscere i reali meccanismi di produzione delle notizie è il primo passo verso una correzione di questa tendenza deleteria.



di Dario Bressanini

chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie*, *OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*.

Effetto sambuca

Questa bevanda alcolica miscelata con acqua genera una soluzione torbida

L'infusione di scorze di arance amare era pronta, di un bel colore arancione limpidissimo. Stavo preparando un liquore simile al limoncello e in un secondo recipiente avevo già preparato e fatto raffreddare uno sciroppo di zucchero, anch'esso limpidissimo. Non appena ho unito i due liquidi la soluzione è diventata torbida e opalescente.

Che cosa era successo? Avevo sbagliato qualcosa? Come è possibile che, unendoli, due liquidi limpidi si mescolino completamente e spontaneamente ma perdendo di trasparenza? Unendo alcool etilico puro e acqua, con o senza zucchero, questi si mescolano spontaneamente, ma la soluzione rimane limpida. D'altra parte, cercando di mescolare acqua e olio, per esempio, la miscela diventa torbida, ma solo se agitata vigorosamente, e dopo pochi minuti di riposo i due liquidi si separano, tornando limpidi. In qualche modo il fenomeno che ho osservato preparando il mio liquore unisce entrambi gli aspetti.

Il fenomeno della torbidità indotta dall'aggiunta di acqua a una bevanda alcolica è una caratteristica tipica dei popolari liquori mediterranei a base di anice, come l'italiana sambuca, il francese *pastis*, il turco *raki* e il greco *ouzo*. Originario del sud-est ma bevuto in tutta la Francia, il *pastis* è un liquore a 40-45 per cento volume di alcool. È spesso bevuto come aperitivo aggiungendo a una parte di liquore cinque parti di acqua fredda e qualche cubetto di ghiaccio. Non appena si aggiunge l'acqua, la soluzione da limpida diventa lattiginosa. Se siete soliti bere la sambuca liscia, oppure come correzione al caffè, non avrete forse mai notato che si comporta nella stessa maniera del *Pastis* a contatto con l'acqua. Provate a miscelare una parte di sambuca e una di acqua e vedrete immediatamente la soluzione diventare opalescente.

Qual è l'origine di questo fenomeno? La molecola responsabile principale dell'aroma di queste bevande è il trans-anetolo. Contenuta nell'anice stellato, nei semi di finocchio e in altri vegetali, questa molecola aromatica è solubile in alcool etilico ma praticamente insolubile in acqua. Questi liquori hanno tutti una gradazione alcolica superiore al 40 per cento in volume, ed è sufficiente per mantenere in soluzione il trans-anetolo e le altre sostanze aromatiche presenti che differenziano i diversi liquori. Quando aggiungiamo acqua, il trans-anetolo non ha più abbastanza molecole di alcool etilico con cui circondarsi, ed è accerchiato da troppe

molecole d'acqua con cui ha un'affinità molto più bassa. A questo punto le molecole di trans-anetolo tendono ad aggregarsi tra loro, formando piccole gocce. È esattamente quello che succede quando versiamo un po' di olio in un bicchiere d'acqua e agitiamo vigorosamente: l'olio non ha la minima voglia di sciogliersi in acqua, ma si formano tante piccole gocce creando quella che gli scienziati chiamano emulsione. A differenza dell'olio però, nel caso della sambuca o del *pastis* non c'è bisogno di agitare la soluzione, e la formazione dell'emulsione è spontanea, perché improvvisamente il trans-anetolo viene «espulso» dalla soluzione.

Il diametro tipico di queste gocce è dell'ordine del millesimo di



Anche il *pastis*. Oltre alla sambuca, anche il *pastis* francese, l'*ouzo* greco e il *raki* turco diventano torbidi se miscelati con acqua, per lo stesso meccanismo chimico-fisico.

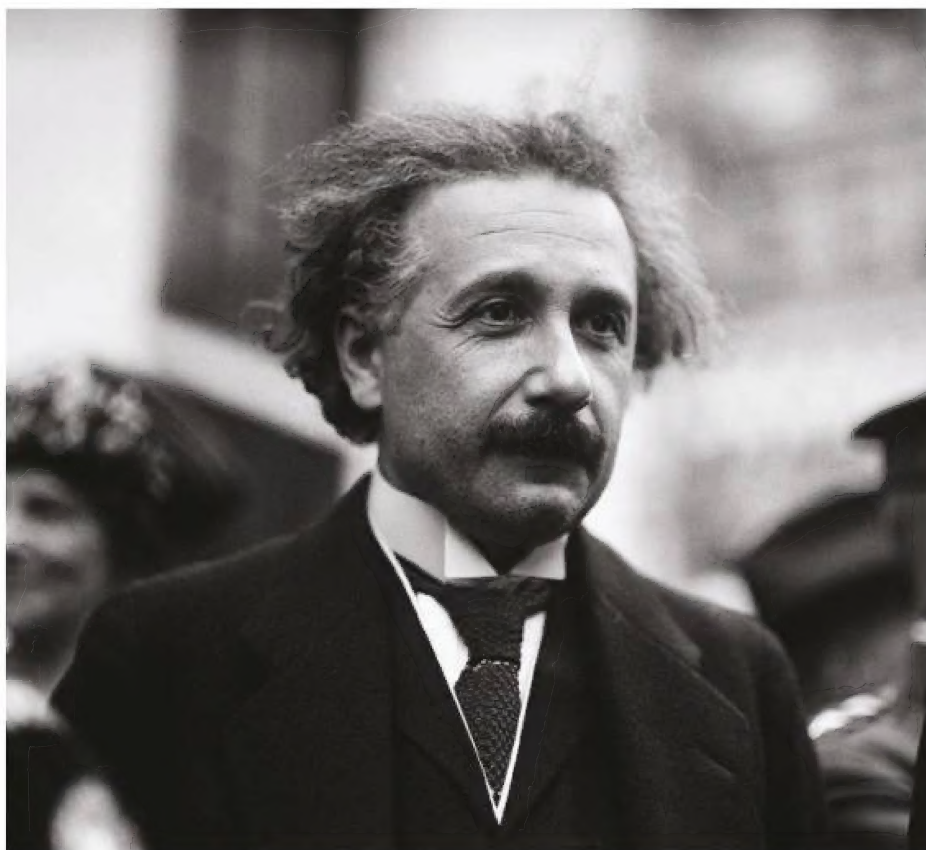
millimetro, e fa sì che la luce, che prima riusciva a passare liberamente nel liquido, ora è invece diffusa in tutte le direzioni facendo apparire biancastra la bevanda. Come l'emulsione di acqua e olio è instabile, e nel giro di pochissimo le due componenti si separano, anche l'emulsione nel nostro aperitivo è instabile, e con l'andar del tempo le gocce di trans-anetolo diventano sempre più grandi e la miscela torna limpida. Questo però accade solo dopo giorni, o addirittura mesi: nel tempo in cui berrete la vostra bevanda non farete a tempo ad accorgervene. Tornando al mio liquore con le arance, l'intorbidimento dopo l'aggiunta dello sciroppo è una buona notizia: significa che l'infusione alcolica ha estratto molti oli essenziali che doneranno aroma alla bevanda.

Numero speciale

Cento anni di relatività generale

Un secolo fa, il 2 dicembre 1915, la pubblicazione della teoria della relatività generale di Einstein irruppe nel mondo della fisica come un ciclone, devastando concezioni centenarie sulla natura dell'universo con l'introduzione del rivoluzionario concetto di spazio-tempo.

In questo numero monografico, una serie di articoli – tra cui una storia a fumetti – per ripercorrere la genesi della teoria, il suo impatto sulla fisica dell'epoca e il peso dell'eredità intellettuale di Einstein sulla fisica di oggi e sull'intero panorama culturale contemporaneo. Senza tralasciare di soffermarsi anche sugli errori che commise, a dispetto della sua mente geniale.



LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98,
00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.le Scienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione

Claudia Di Giorgio (caporedattore), Giovanna Salvini
(caposervizio grafico), Cinzia Sgheri,
Ale Sordi (grafico), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrierio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail: pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc,
00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek
(vice presidente), Gabriele Acquistapace,
Markus Bossle, Stefano Mignangelo

Responsabile del trattamento dati
(D. lgs. 30 giugno 2003 n. 196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70
del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - ottobre 2015

Copyright © 2015 by Le Scienze S.p.A.
ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; Executive editor:
Fred Guterl; Managing Editor: Ricki L. Rusting; Board
of Editors: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna
Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong,
David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John
Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Chiara Barattieri: *La specie più invadente di tutte, Cambio di stato*; Elena Bernacchi:
In cerca di un altro Giove; Paolo Cocco: *Foreste in marica*; Cristina Serra: *La perdita di udito nascosta*;
Alfredo Tutino: *I test nella scuola: una nuova visione*.
Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI SOMEDIA S.p.A.

Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail.grandiclienti@somedia.it

abb. annuale	Italia	€ 39,00
abb. biennale		€ 75,00
abb. triennale		€ 99,00
copia arretrata		€ 9,00
abb. annuale Europa	Estero	€ 52,00
abb. annuale Resto del Mondo		€ 79,00



Accertamento
diffusione stampa
certificato
n. 7827 del 9/2/2015

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

SPECIALE ABBONAMENTO

Ogni mese direttamente a casa tua le ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.

IN ESCLUSIVA, solo con l'abbonamento, ti assicuri la possibilità di consultare sul nuovo sito **www.lescienze.it** gli oltre **4.200 articoli** pubblicati dal 1968 ad oggi!

E, se vuoi, puoi decidere di **regalare l'abbonamento alle stesse condizioni!**

Fino al
38%
di sconto



SCEGLI LA TUA OFFERTA!

DURATA	PREZZO DI COPERTINA	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO - 12 NUMERI	€ 54,00	€39,00	€15,00
2 ANNI - 24 NUMERI	€ 108,00	€75,00	€33,00
3 ANNI - 36 NUMERI	€ 162,00	€99,00	€63,00

SCEGLI DI ABBONARTI!

■ È CONVENIENTE

Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio!

■ È COMODO

Riceverai Le Scienze ogni mese a casa tua senza alcun costo aggiuntivo e con il prezzo bloccato!

■ È FACILE

✓ Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it

✓ Chiama il n. 199.78.72.78* (0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni non abilitati o cellulari.)

*Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).

✓ Compila, stacca e spedisce - anche via fax - la cartolina che trovi nella rivista

Offerta valida solo per l'Italia



Vini trentini, con una forte inclinazione per la qualità.



Il "principe dei vini trentini". Colore rosso rubino vivo e brillante. Profumo fruttato con sentori di mirtillo e lampone. Elegante e avvolgente.



MAESTRI DELLA TRADIZIONE TRENTINA.

Mastri Vernacoli di Cavit è la linea di vini DOC che racchiude i sapori e la varietà di una terra ad alta vocazione vinicola: dal Teroldego Rotaliano al Müller Thurgau, dal Marzemino al Gewürztraminer. Mastri Vernacoli di Cavit: il Trentino, in sintesi.